LE HOHNECK

SUJET DE LA THESE

"LA VÉGÉTATION DES HAUTES VOSGES DANS SES RAPPORTS AVEC LES CLIMATS LOCAUX, LES SOLS ET LA GÉOMORPHOLOGIE, COMPARAISON AVEC LA VÉGÉTATION SUBALPINE DES MOYENNES MONTAGNES D'EUROPE OCCIDENTALE ET CENTRALE".

ARTICLE PRINCIPAL

RECOUVRANT EN PARTIE LA THÈSE DE DOCTORAT ÈS SCIENCES NATURELLES

ENREGISTRÉE AU C.N.R.S. SOUS LE N° A.O. 1284

NOM & PRENOM CARBIENER ROLAND

SOUTENUE LE 15 DÉCEMBRE 1966 À LA
FACULTE DES SCIENCES D'ORSAY
(SÉRIE A, NUMÉRO D'ORDRE 199)
DEVANT LE JURY :

MM. G. MANGENOT PRÉSIDENT
G. LEMEE
M. GUINOCHET
L. EMBERGER EXAMINATEURS

RG

LES SOLS DU MASSIF DU HOHNECK LEURS RAPPORTS AVEC LE TAPIS VÉGÉTAL

par R. CARBIENER

I. INTRODUCTION : OBJET DE LA PÉDOLOGIE

La pédologie est la science des sols. Les sols sont, au même titre que les groupements végétaux naturels qu'ils portent, le résultat de l'interaction de nombreux facteurs dont les plus importants sont :

Le climat. La végétation, qui forme dans ses divers aspects un complexe avec le climat. *Le substratum minéral* au sens large, pour l'étude duquel nous ferons appel à la géologie (minéralogie, pétrographie, stratigraphie) et à la géomorphologie. *La topographie :* pente, exposition, influant sur le micro-climat, le sens du cheminement des eaux d'infiltration, l'érosion ou le colluvionnement. *La faune et la microflore du sol,* qui dépendent des facteurs précédents. *L'histoire géomorphologique* (rôle du facteur chronologique dans l'édification des sols; rôle des substrats anciens; paléosols) et *l'histoire régionale de la flore* au cours des âges géologiques, responsable, avec les facteurs climatiques, de la composition du tapis végétal actuel. *L'intervention humaine enfin* (facteurs anthropiques) : agriculture, fumure, amendements, pâturage, défrichements, pratiques forestières, incendies.

La résultante de ces divers facteurs, dont l'action isolée est souvent délicate à extrapoler, conduit à l'élaboration d'un sol bien déterminé, en équilibre dynamique avec eux, et que l'on peut considérer comme le reflet fidèle des conditions du milieu.

Or, et ceci est remarquable, cette résultante conduit également à un tapis végétal de composition définie (dans certaines limites), s'ordonnant en un groupement hiérarchisé de diverses espèces d'exigences écologiques analogues ou complémentaires (ex. géophytes vernaux dans la forêt de hêtres). Ces groupements définis, issus de la sélection que la concurrence impose aux divers végétaux se disputant une même station, constituent également un reflet fidèle des conditions du milieu, et correspondent aux *associations végétales* des phytosociologues. On les retrouve, à composition floristique voisine, dans toutes les stations d'écologie semblable de vastes territoires, parfois à des centaines, voire des milliers de kilomètres de distance.

De cet exposé résulte logiquement, et l'expérience le prouve, qu'à une association végétale déterminée correspondra un sol déterminé, caractérisé par l'ensemble des propriétés physico-chimiques des divers horizons qui le composent. L'inverse, cependant, n'est pas toujours vrai, du fait que le nombre de types de sols définis par les pédologues est bien inférieur à celui des groupements végétaux. De plus, ces derniers sont plus sensibles aux modifications des conditions du milieu que les sols. Aussi faut-il, avec LEMÉE (**39**) et ELLENBERG (**25**), nuancer la thèse de la correspondance rigoureuse entre associations végétales et types de sols. Il n'en reste pas moins vrai que ce concept est très fécond. L'étude du massif du Hohneck nous en fournira des exemples très nets.

C'est que, comme le constate LEMÉE, « sur un territoire floristiquement homogène, pour une roche-mère donnée, et lorsque les facteurs anthropozoogènes ne sont pas prédominants, la règle de la correspondance entre sols et groupements végétaux s'applique ». Par contre, « si les substrata sont de nature différente, ou si les successions de groupements

UNIV. LEIDEN BIB.

ne sont pas identiques, seuls les horizons supérieurs du profil, à prédominance biogénique, ont des caractères semblables ». Dans ce deuxième cas nous aboutissons à la notion de sol analogue due à PALLMANN, c'est-à-dire de sols identiques en surface et différents en profondeur. Cette notion sera illustrée dans notre dernier chapitre.

II. LES FACTEURS DE LA PÉDOGENÈSE DANS LE MASSIF DU HOHNECK

A. LE CLIMAT.

C'est le facteur essentiel, dominant les autres et l'article de ROTHÉ et HERRENSCHNEIDER correspondant aura convaincu le lecteur du caractère *océanique-subarctique* du climat de la *crête* des Vosges centrales. Rappelons simplement les analogies marquées avec le climat de l'Islande du Sud ou des côtes septentrionales de la Norvège; la forte pluviosité, très régulièrement répartie sur toute l'année, dépassant 2 m; l'humidité atmosphérique élevée; l'été très frais, l'hiver relativement doux. La température moyenne annuelle de la crête est de 3° à 4°, la moyenne du mois le plus froid étant de — 4° (janvier) contre 10,5° à 11° pour le mois le plus chaud (juillet). Notons encore que les températures de février et d'août sont pratiquement identiques à celles de janvier et de juillet.

La latitude, c'est-à-dire ce qui caractérise en propre *un climat de montagne* de pays tempéré froid qui est le nôtre, se fait remarquer par des périodes de sécheresse atmosphérique très forte aussi bien en hiver — principalement — qu'en été, correspondant aux situations météorologiques anticycloniques. La végétation souffre parfois terriblement de la sécheresse. En hiver certains sempervirents : Vaccinies, Genêts sont particulièrement exposés, l'absorption de l'eau étant bloquée en sol gelé. C'est la « *Frosttrocknis* » de laquelle les branches nues du Hêtre souffrent d'ailleurs autant ou plus que les Conifères de nos montagnes, d'après des travaux de physiologie expérimentale (**9**, p. 61). En été, c'est la propriété des sols très riches en matière organique acide comme le sont la plupart de ceux du Massif du Hohneck d'approcher du seuil de sécheresse physiologique pour des teneurs en eau assez élevées, qui pourrait entrer en jeu. Expliquons-nous : l'humus acide est caractérisé par une « humidité équivalente » très élevée, c'est-à-dire que le sol, égoutté, retient une très forte quantité d'eau. C'est une véritable éponge. Mais, une fois partiellement asséchée, cette matière organique très hygrophile ne cède son eau que difficilement : le « point de flétrissement », seuil à partir duquel l'eau devient inassimilable, correspond à des teneurs encore élevées en valeur absolue. En pratique toutefois, étant donné le climat, on n'approche que rarement de ce seuil en été : les sols de la crête sont toujours plus ou moins humides et de ce fait aussi très froids. C'est en hiver que la sécheresse fait des dégâts.

La forte pluviosité favorise *le lessivage*, c'est-à-dire l'entraînement vertical de haut en bas des sels minéraux, ainsi que, par hydrolyse, des cations (encore nommés « bases ») fixés sous forme échangeable, et des colloïdes, dont les principaux sont l'argile, les oxydes de fer et d'aluminium, les colloïdes humiques. Les colloïdes ne deviennent cependant entraînables en profondeur que lorsqu'ils se trouvent en pseudo-solution. Cet état « défloculé » ou « dispersé » dépend de nombreux facteurs: pH, cathions, présences de « colloïdes protecteurs ». Or les colloïdes protecteurs principaux sont les acides humiques. Dispersés en pH acide ils font que dans les sols acides une grande partie des autres colloïdes peut être entraînée. Les « bases », de même, sont alors détachées de leur support par les ions hydrogène activant l'hydrolyse et migrent massivement. *Or le pH, la nature et la production des acides humiques dépendent plus de la végétation que du climat ;* de plus ce sont

certains acides humiques qui sont responsables du *phénomène de podzolisation*, c'est-à-dire de la destruction des silicates : (feldspaths, minéraux ferro-magnésiens), de la dissociation des complexes argile-oxyde de fer et enfin de la destruction des argiles elles-mêmes. Dans beaucoup de Podzols il y aura d'ailleurs, plutôt que destruction d'argile, inhibition de la genèse de celle-ci, aboutissant finalement à une libération intense de sesquioxydes qui seront eux-mêmes « peptisés » par les acides humiques et entraînés en profondeur. La podzolisation n'est donc un phénomène climatique que dans la mesure où la végétation podzolisante est elle-même climatique (ce qui est le cas des forêts de Conifères subalpines-continentales ou boréo-continentales par exemple.).

B. LES ROCHES-MÈRES : FACTEURS GÉOLOGIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES.

Ainsi que le fait ressortir la partie de cet ouvrage consacrée à la géologie, le Massif du Hohneck est caractérisé par l'uniformité relative de sa structure : l'ensemble du massif est constitué *de roches granitiques*. A la lisière sud de la région étudiée, ainsi qu'en un mince lambeau isolé entre des failles, au-dessus du lac de Retournemer, affleure cependant le complexe schisto-gréseux connu sous le nom de « grauwacke ».

L'étude des roches-mères ayant donné naissance aux sols de la région du Hohneck se réduirait donc apparemment à celle du « granite des crêtes » et de ses variantes, ainsi que de la grauwacke.

Or il n'en est rien. En effet les sols ne reposent qu'en de rares points sur le granite compact (nous en reparlerons). Ce sont des produits d'altération anciens, tertiaires, issus de ce granite et remaniés au quaternaire, qui forment les roches-mères. D'où une assez grande variété, les faciès de ces produits d'altération dépendant de leur origine et des conditions de gisement : formations restées en place ou reprises par les remaniements quaternaires, glaciaires et surtout périglaciaires, étudiés par TRICART.

Ce matériel présente évidemment un certain nombre de propriétés communes donnant à ces sols des caractères physiques et chimiques voisins : texture grossière où dominent les graviers et les sables grossiers conditionnant une bonne perméabilité et aération ; balance des cations disponibles au départ et oligotrophie.

Mais la diversité relative des substrats interférant avec les conditions de végétation, de mésoclimat (étages) et de topographie donnera naissance à plusieurs types de sols et à des variantes nombreuses à l'intérieur des types dans la région étudiée, malgré l'homogénéité apparente des facteurs pétrographiques.

Étudions donc, sous l'angle pédologique, les propriétés du granite des Crêtes et des produits d'altération qui en dérivent.

1° Le granite des Crêtes.

Ses propriétés principales en tant que roche-mère découlent de la *texture porphyroïde macrogrenue*. — Les cristaux d'orthose (feldspath potassique) blancs et rectangulaires, sont très grands et peuvent atteindre plusieurs centimètres. Ils sont dispersés dans une masse formée de petits grains d'oligoclase (feldspath calcosodique pauvre en chaux) et de nombreux cristaux de biotite (mica noir) ; s'y ajoutent d'assez gros cristaux de quartz, rares, et un peu d'une amphibole brune (hornblende) riche en titane.

De cette constitution minéralogique se déduit *la composition chimique*. Le granite des Crêtes comme tous les granites est une roche « acide » (titrant environ 70 % de SiO_2) et pauvre en éléments fertilisants. Il est cependant de teinte foncée, proche des syénites (pau-

vre en quartz) et de ce fait relativement riche en bases pour un granite. Oligoclase, biotite et amphibole libèrent du calcium, du magnésium ou les deux. Ces deux alcalino-terreux se tiennent la balance, ce qui traduit la forte richesse du granite des Crêtes en magnésium et une notable carence calcique. A la *carence calcique* s'oppose le *taux élevé de potassium*, que le feldspath orthose fournit aux sols granitiques concurremment avec la biotite, et dont le granite des Crêtes est particulièrement bien pourvu. Parmi les éléments fertilisants déficitaires il faut ranger le *phosphore* provenant de la fluor-apatite et parmi les oligoéléments, le *cuivre*, comme le suggèrent les travaux de COPPENET (**19**) sur les sols granitiques du Morbihan. Le *fer*, par contre, est abondant (biotite, amphibole) ainsi que le *manganèse*.

Voici deux analyses de ce granite (a, b) comparées à celles d'un faciès amphibolique plus basique (c) et à deux granites à muscovite (mica blanc) du Brézouard et de La Bresse, beaucoup plus acides (d, e); Analyses citées d'après JUNG (**35**), en % pondéraux.

a) Col du Page : granite à biotite des Crêtes.
b) Froide-Fontaine : granite à biotite des Crêtes.
c) Gérardmer : faciès à amphibole du granite des Crêtes.
d) Brézouard : granite à deux micas.
e) La Bresse : granite à deux micas.
n. d. = non dosé.

Tout le fer, ferreux, et ferrique, est exprimé en Fe_2O_3.

	a	b	c	d	e
SiO_2	66,6	68,3	63,8	72,9	73,8
Al_2O_3	15,5	15,1	14,2	15,4	15,8
Fe_2O_3	3,5	2,9	4,8	1,1	n. d.
TiO_2	0,4	0,7	n. d.	n. d.	n. d.
CaO	2,0	1,7	3,1	1,6	0,9
MgO	2,7	2,3	4,7	0,4	0,9
K_2O	4,9	8,5	6,0	4,3	7,8
Na_2O	3,3	8,5	2,2	2,6	0,8
P_2O_5	0,5 % en moyenne semble-t-il.				

Les faciès de variations du granite des Crêtes, l'un basique à amphibole, l'autre acide à muscovite existent sur le versant occidental du Hohneck (entre Gérardmer-Retournemer-La Bresse et la Crête). Les variations de composition chimique se déduisent logiquement des variations minéralogiques.

Ces faibles différences de composition peuvent avoir une influence, quoique réduite, sur la pédogenèse, surtout pour les sols « peu évolués » pétromorphes de montagne. Ainsi, d'après GANSSEN (**3,32**), les gneiss d'origine sédimentaire (paragneiss de la Haute Forêt-Noire méridionale, qui y jouent le même rôle que le granite des Crêtes dans les Vosges Centrales) montrent une résistance particulière à la podzolisation, comparativement aux granites, alors que leur composition chimique est voisine. (**42** p. 38).

Mais en conclusion, rappelons que les analyses globales de roches (ou de sols) ne donnent qu'une idée très grossière du biochimisme, car les *fractions assimilables des minéraux n'ont aucun rapport avec les teneurs globales* et ne dépendent que de l'état et de l'évolution du complexe pédologique. Aussi des carences originelles révélées par l'analyse globale, comme celles du Ca, P, Cu, peuvent-elles encore être très aggravées par les facteurs pédologiques. Citons le cas du phosphore qui, insolubilisé à l'état de phosphate ferrique, trouve sa carence originelle accentuée dans le cas de sols très acides (pH 4) fort répandus autour du Hohneck. Il en est de même du cuivre, énergiquement retenu par les humus

très désaturés (RADEMACHER : **49**). Inversement le potassium, assez abondant originellement, n'est que peu disponible pour les plantes parce que l'orthose, minéral le moins altérable après le quartz, ne le libère que très lentement.

De même, si dans les sols acides et pauvres de la crête nous trouvons des taux de magnésium ionique aussi importants ou plus importants que ceux de calcium, cela semble correspondre aux données de l'analyse globale. Or nous constatons que dans les sols forestiers les meilleurs sur substrat identique, le rapport Ca/Mg augmente fortement. Ceci est dû à la fixation préférentielle du calcium par les végétaux et à sa restitution au sol par la litière. Le calcium est ensuite conservé, si la physicochimie de l'humus le permet (humus doux). En cas de forte concentration en hydrogène échangeable de l'humus par contre, il est déplacé et perdu et des rapports Ca/Mg proches de l'unité sont caractéristiques des sols les plus acides. Dans ce dernier cas le rapport Ca/K tend d'ailleurs lui-même à se rapprocher de l'unité. Citons enfin le cas du manganèse, particulièrement complexe du fait des formes chimiques nombreuses sous lesquelles l'on trouve cet élément dans les sols selon les circonstances écologiques. Ainsi sur un même substrat (granite) il se rencontre selon le type d'humus soit sous forme Mn^{++} assimilable, parfois en quantités toxiques pour certaines espèces, soit sous forme d'oxyde insoluble rendant le sol carencé en Mn, soit enfin en quantités rendues très déficitaires par suite du lessivage des horizons supérieurs (Podzols).

Le granite compact n'affleure qu'en de rares points en tant que roche-mère des sols. La continuité du manteau végétal ne permet d'ailleurs pas de se rendre compte de l'étendue réelle de cette occurrence. Ainsi le prélèvement d'un certain nombre de « profils » de sols dans la région culminante de la crête nous a fait rencontrer à plusieures reprises le granite à quelques décimètres de profondeur. Il s'agissait par exemple de la partie Est de la crête à quelques centaines de mètres de la rupture de pente du Cirque du Wormspel et surtout de la partie supérieure du plateau qui s'étend du Gazon de Faîte au Reisberg. Certaines de ces zones ont été décapées par soutirage, par la solifluction, au profit du bas des versants, ce qui fait que l'on voit affleurer au sommet de certains mamelons quelques chicots rocheux dénudés par ce processus morphologique. En ce qui concerne le plateau Gazon de Faîte-Reisberg et la niche de la tourbière du Tanneck, ce sont des névés qui se déversaient dans le glacier de la Haute Meurthe, dont la surface venait lécher ce plateau, qui sont responsables de la mise à nu du granite. Ce sont les seuls névés dont nous ayons pu reconnaître l'existence sur la crête. Ils ont décapé les régions intéressées jusqu'à la roche saine et n'ont laissé subsister que de gros blocs de granite empilés dont certains affleurent comme par exemple au droit du lac des Truites, ou des chaos de blocs comme celui de la roche des Fées à l'Ouest du Gazon de Faing, chaos mis à nu par l'érosion sur le bord de la niche de nivation. Les sols sont dans ce cas des Ranker (littéralement « sols rampants ») typiques, c'est-à-dire constitués uniquement d'un horizon humifère A plus ou moins épais (jusqu'à 30 cm, Gazon de Faîte), reposant directement sur la roche-mère C *compacte* (« Ranker d'érosion » : voir analyse n° 5, p. 146). Les seules tourbières de la crête existent ici, ce qui est significatif.

Mais la généralité de la superficie des Hautes Chaumes est occupée par un manteau d'arène. Celle-ci est le plus souvent recouverte d'une couche soliflüée pierreuse. Plus rarement l'érosion laisse l'arène d'altération en place, qui conserve alors la structure originelle du granite (granite pourri). Parfois cette dernière est superficiellement cryoturbée et laisse voir quelques plications et involutions. Enfin, les glaciers de cirque et de vallée nous ont laissé des placages morainiques divers. Examinons ces cas :

2° Les formations d'altération dérivées du granite des Crêtes.

a) *L'arène granitique et les coulées de solifluction.*

Les géomorphologues attribuent généralement à l'arène une origine tertiaire. En effet, le granite ne s'altère en arène que sous climat chaud avec alternance de saison sèche et pluvieuse, comme l'expérience et l'étude de la morphologie des pays granitiques subtropicaux le prouvent. Or, ces climats étaient ceux du Néogène en Europe. La décomposition est à la fois d'origine physique: jeu des dilatations différentielles entre les divers minéraux, imbibitions différentielles; et chimique, en particulier hydrolyse des feldspaths calcosodiques et des phyllites suivies de cristallisations interstitielles. D'où le grand rôle de l'étendue des surfaces d'imbibition, c'est-à-dire de la taille des minéraux.

Ceci explique que les granites à gros grains comme celui des Crêtes soient très sensibles à cette altération. L'on trouve encore dans les Vosges, mais rarement, de l'arène *en place* ayant l'aspect d'un granite normal mais s'effritant en sable sous la pioche, sur 5 mètres ou plus d'épaisseur parfois (Vosges du sud, Champ du Feu). Elle résulte d'une altération isovolumétrique du granite (tous les minéraux sont à leur place originelle, les filons, diaclases très reconnaissables) avec essentiellement kaolinisation des feldspaths calcosodiques, déferritisation partielle de la biotite qui prend un aspect mordoré, les minéraux les plus stables, le quartz et les feldspaths potassiques étant inaltérés. Les granites microgrenus par contre sont très résistants dans ces conditions, au même titre que les « porphyres » (rhyolithe du Nideck), mais l'on n'en rencontre guère dans notre massif.

Nous ne possédons que peu de données analytiques sur cette arène et ces coulées de solifluction, et un gros travail reste à faire étant donné les fortes variations de faciès en rapport avec les remaniements quaternaires (cf. : **10**). Le tableau (ci-dessous, comprenant 3 analyses d'arène au niveau des contacts avec le sol proprement dit, entre 50 et 70 cm de profondeur (horizon C_I, notables teneurs en matière organique !) peut donner une idée sur la composition de ce substratum. Nous le comparons à une arène C_I analysée par COPPENET (**19**), provenant de la forêt d'Huelgoat en Bretagne et à une autre de la bordure morvandelle (arène cultivée d'où teneur en argile élevée), analysée par SAJOT (**52**) [1].

a) Col du Falimont près du Hohneck. b) Flanc Ouest de la crête entre le Hohneck et Kastelberg. c) Gazon Martin, au Nord de la Schlucht. d) Bretagne. e) Morvan.

(Bases échangeables fixées sur le « complexe absorbant » exprimées en milliéquivalents-grammes %.)

Granulométrie %	a	b	c	Moy.	d	e
Argile	8	4	6	6	5	14
Limon	9	13	15	12	17,5	15,5
Sable fin	24	24	23	24	51,5	20
Sable grossier	52	53	49	51	19,5	45,5
Terre fine	60				70	75
Mat. Org.	5,0	3,0	7,5		2,4	3,0
Complexe absorbant: ions éch. à pH 7 :						
Ca	1,1	1,0	0,8	0,95	—	—
Mg	1,2	1,0	1,5	1,2	—	—
K	0,3	0,2	0,2	0,25	—	—
Somme des bases S	2,5	2,1	2,5	2,35	—	—
Capacité d'échange à pH 7,0	12,2	9,3	9,8	10,4	—	—
Taux de saturation S/T	20,5	22,5	25,5	22,8	—	—
Oxydes de fer libres en Fe %	2,1	1,5	1,0	1,5	1,1	—

(1) Sauf indications contraires toutes les analyses sont de l'auteur.

Cette texture est donc très grossière. La matrice fine (limon + argile) n'est que de 20 % de la terre fine et 10 % du total. C'est cette pauvreté en éléments fins qui nous avait fait songer d'abord à attribuer une origine quaternaire (interglaciaire) et non tertiaire à cette arène (**16**).

Mais nos analyses ne concernent que les Hautes Chaumes, appauvries par les phénomènes anciens d'érosion, de lessivage oblique, etc. Des niveaux nettement plus riches en matrice fine par colluvionnement et lessivage oblique peuvent se rencontrer dans les fonds de vallons et au bas des pentes ainsi rendus peu perméables et individualisés par une végétation hygrophile ou de tourbière plate. Originellement épaisse de dizaines de mètres, cette arène a subi l'érosion et les remaniements quaternaires liés au climat glaciaire et périglaciaire. Aussi les poches d'arène en place très épaisses sont rares. Généralement des coulées de solifluction périglaciaires couvrent les pentes. Ainsi au niveau des Hautes Chaumes, ces coulées comprennent de nombreux blocs de granite anguleux provenant des chicots rocheux de la crête débités par la gélivation, et présentent une épaisseur moyenne d'environ deux mètres. Mais cette épaisseur est très irrégulière : elle tend naturellement à croître vers le bas des pentes de la zone supérieure et à s'amincir sur les crêtes et au niveau des ruptures de pentes. Des couches stratifiées par des ruissellements en nappe temporaires avec minces niveaux enrichis en argile, en oxyde de fer ou en micas, alternant avec des couches plus sableuses ou graveleuses (Soultzeren : ruissellements de fontes des neiges glaciaires) se rencontrent aussi.

L'importance pratique de la solifluction réside dans le brassage qu'elle réalise. Ainsi, dans la partie supérieure de l'amphithéâtre de Retournemer subsiste un lambeau de grauwacke profondément altérée, au contact de failles, en argiles rouges, et enserrée par le granite. Tout le contre-bas de ce gisement profite d'une alimentation argileuse du sol réalisée par la solifluction à partir de cet affleurement. Le sous-sol y présente une couleur rouge lie-de-vin due à cet apport, alors que tous les éléments granulométriques grossiers sont granitiques. Le sous-basement rocheux étant granitique sera marqué comme tel sur la carte géologique. Or l'enrichissement en argile a des conséquences pédologiques importantes.

b) *Les moraines.*

Étant donné l'importance relativement réduite des appareils glaciaires wurmiens des Vosges, représentés uniquement par des glaciers de vallée (petits sur le versant alsacien !) et des glaciers de cirque, les moraines n'occupent dans le Massif du Hohneck qu'une place secondaire en tant que roches-mères des sols. La subsistance du manteau arénacé sur le haut plateau de la Crête prouve que celle-ci était dépourvue de calotte glaciaire : des glaciers culminants du type scandinave faisaient défaut (**53**).

Comme exemple de moraines citons, pour l'étage montagnard et sub-alpin, le chaos à très gros blocs qui recouvre sur des centaines de mètres le verrou qui barre le lac Blanc à l'Est, la formation similaire, mais plus réduite du lac Noir et du cirque boisé se trouvant entre les deux lacs; la moraine frontale du lac Vert; celle très belle du Missheimle ou, plus réduite, du petit cirque boisé en tête du ruisseau de l'Altenberg : Hirschsteinried; les vallums du Frankenthal, du Schiessrothried, etc.

Sur le versant lorrain cependant l'important système glaciaire Hte-Meurthe, Vologne, Moselotte, Haute-Moselle, réuni par de nombreuses diffluences, dont l'une fut par exemple, responsable du surcreusement du lac de Lispach, constitua le plus imposant appareil glaciaire wurmien des Vosges (**45**). Ici la glace s'accumulait sur des centaines de mètres,

recouvrait croupes et interfluves. Aussi rencontrons-nous dans les hautes vallées marécageuses, d'hydrographie indécise, de grandes masses morainiques, particulièrement de la moraine d'ablation (se distinguant par la présence de lits stratifiés nombreux), déposée lors du retrait fini-glaciaire par la glace fondante. Les hautes vallées comme celles des Faignes-sous-Vologne, de la Grande Basse, du ruisseau de Chajoux en sont tapissées.

Ces moraines constituent un substratum particulier par la constitution granulométrique très hétérogène caractéristique. (Ainsi celles-ci sont-elles très riches en blocs de toutes tailles à angles émoussés par le travail de la glace et provenant de l'évacuation des éboulis de gélivation des flancs des rimayes glaciaires par le glacier : ceci les distingue des coulées de solifluction dont les pierres ont des angles vifs.) En plus les moraines, celles d'ablation surtout, sont délavées par les eaux de fonte donc appauvries en éléments fins et en éléments fertilisants, originellement assez bien représentés. Enfin leur localisation sur des replats, fonds de vallées, favorise la percolation.

La collusion de ces facteurs réalise ainsi une roche-mère particulièrement filtrante et poreuse et explique que c'est sur substrat morainique que nous rencontrons les sols les plus évolués des Hautes Vosges, à savoir des sols podzoliques tendant vers le podzol humo-ferrugineux dont nous verrons des exemples. Nous montrerons plus tard comment l'intervention de la végétation contribue largement à ce phénomène.

Quant à certains chaos de blocs, restes de moraines latérales ou d'éboulis accolés au flanc des vallées ou au bas des pentes, ils donnent lieu à la formation de sols squelettiques soit très pauvres et acides (hauts de pentes), soit biologiquement actifs par accumulation de litières entre les blocs et colluvionnement (au bas des pentes). Ils portent des sols non évolués initiaux, le substrat et la forte pente empêchant les phénomènes d'évolution pédologique. (Ranker à Mull ou à Moder).

3° La grauwacke et les substrats dérivés.

Dans la région étudiée la grauwacke n'affleure que sur la frange Sud : Rothenbachkopf. Elle y forme le début du grand Massif de Grauwacke à ovoïdes des Ballons (Jung) qui va du Rothenbachkopf au Markstein et au Grand Ballon et présente une apophyse allant du Petit Ballon au Staufen. Par ailleurs, nous avons déjà parlé du lambeau peu étendu pincé entre deux failles qui existe entre le lac de Retournemer et le Collet de la Schlucht.

Roche sédimentaire schisto-gréseuse dure, compacte, à ciment siliceux pélitique, elle se différencie nettement du granite quant à ses propriétés pédogénétiques.

Ce grès feldspathique est de faciès assez uniforme à l'intérieur du « Massif des Ballons ». Il s'apparente à un flysch dur élaboré au Carbonifère inférieur (faciès Culm du Tournaisien) dans la zone géosynclinale hercynienne, à la faveur d'une rapide sédimentation détritique en mer peu profonde. Ayant reçu des apports volcaniques abondants (cinérites andésitiques essentiellement), ses propriétés en tant que roche-mère se rapprochent précisément de celles des roches volcaniques mélanocrates mésotrophes du groupe des andésites. Il s'agit d'une roche nettement plus riche en bases que le granite, mais nous n'en possédons malheureusement aucune analyse chimique. Le pyroxène, l'amphibole hornblende, les feldspaths basiques y abondent. Le ciment est chloriteux, ce qui donne à la roche la couleur verdâtre.

Ce grès fin se distingue encore du granite par une résistance plus grande à l'altération chimique sous des climats chauds : il n'a pas été décomposé en formations meubles au tertiaire, sauf à l'emplacement de failles ayant broyé la roche où nous trouvons d'épaisses

couches argileuses rouges. Par contre, la grauwacke est très sensible aux alternances gel-dégel agissant le long de très nombreuses diaclases et des joints de sédimentation. Les périodes glaciaires ont ainsi débité cette roche très gélive en *un chaos de blocs anguleux* de toutes tailles, constituant le substratum des sols du Massif des Ballons.

Inversement si la fraction terreuse libérée à partir de cette roche est nettement moins abondante que pour le granite, elle est pauvre en sable grossier et riche en matrice fine : la somme argile + limon des sols sur grauwacke de la crête oscille aux environs de 40 % de terre fine, c'est-à-dire de la portion analysée en pédologie (traversant un tamis à trous ronds de 2 mm de diamètre). Elle provient de la désagrégation du ciment pélitique. La granulométrie globale se trouve ainsi décalée aux deux extrêmes. Ce matériel, pauvre en terre fine, a été moins sujet à solifluction périglaciaire que l'arène granitique. Par contre le chaos rocheux de gélivation a pu être déplacé par des névés donnant des coulées de blocaille nivales. Celles-ci, dépourvues de terre, donnent des étendues stériles.

La grossièreté du matériel gélivé *laissant des vides* importants entre les blocs, confère à ces sols une grande perméabilité. Par la texture, la structure, les sols sur grauwacke acquièrent ainsi des propriétés physiques comparables à celles des sols sur calcaire dur. Les profils sont souvent beaucoup moins épais que ceux sur granite, et surtout très pierreux. Ceci, joint à une oligotrophie moindre de ces sols, explique la présence de plantes dites calciphiles (le plus souvent thermo-xérophiles et neutrophiles) sur certaines pentes de grauwacke. C'est ainsi que toute une florule d'espèces de pelouses sèches sous-vosgiennes ou des prairies de la plaine arrive à monter jusqu'aux abords des sommets (1 200 m) sur les pentes Sud du Massif de Grauwacke (Ochsenbein : Petit Ballon, **46**; la situation orientale, en retrait de la Crête et abritée de ce sommet y contribue). Certaines associations spécialisées (ass. à *Calamagrostis arundinacea*) des pentes raides exposées au Sud et à l'Est des escarpements granitiques des cirques glaciaires présentent, du fait de leur microclimat, la même particularité, mais sur grauwacke le phénomène se manifeste aussi pour des expositions moins favorisées et des pentes plus faibles.

Après Kirschleger, dont la « phystostatique » laisse déjà clairement entrevoir des préoccupations orientées vers l'écologie, Issler (**4**), a bien précisé empiriquement, d'après la flore, la particularité de la grauwacke de donner des sols plus « chauds ». Mais il faut se rendre compte que ceci n'est pas une propriété de la roche en tant que telle. En effet, ce n'est qu'au niveau des escarpements que la couleur sombre joue un rôle thermique, ce qui, joint à des facteurs chimiques comme la richesse relative en calcium, permet à la grauwacke de s'attribuer un certain nombre d'exclusivités floristiques dont Issler a dressé la liste (plantes dites jurassiennes). Partout ailleurs ses propriétés sont celles du manteau de débris périglaciaires qui recouvre la roche compacte. C'est lui qui conditionne le comportement thermique et hydrique des sols sur grauwacke.

Mais cette action ne se fait sentir que pour autant que les plantes ne sont pas isolées du substratum par une couche épaisse d'humus qui, générale à l'étage subalpin, réduit notablement la portée du phénomène.

c. facteurs topographiques : role de l'érosion.

Dans nos massifs anciens de la zone tempérée, l'érosion est beaucoup plus faible qu'on ne l'admet généralement. Dans le Massif du Hohneck elle n'est, par suite de la densité du couvert végétal, que très faible. Seuls font exception les flancs de cirque soumis à des ruissellements, décollements, foisonnements, solifluctions, à la fonte des neiges, et

présentant encore des éboulis vifs de gélivation, et les pentes dénudées par l'intervention humaine (coupes forestières à blanc) ou par une catastrophe naturelle (chablis).

Il suffit pour se rendre compte de ce fait de visiter les Hautes Vosges après des pluies exceptionnelles ou des fontes de neiges brutales : les ruisseaux de la zone forestière restent limpides ou ne se troublent que faiblement. Tout change dès que l'on arrive dans des zones influencées par l'homme : talus de route, chemins, cultures, villages, etc. Les ruisseaux coulent dans des lits fossiles hérités du glaciaire, aussi l'érosion linéaire est-elle elle-même faible, car le pavage du fond des cours d'eau et des berges par du matériel d'âge glaciaire dépassant largement leur « compétence », même lors des plus fortes crues, empêche un creusement de ces lits. Ne font exception que les cours d'eau de très forte pente (petites gorges de raccordement de certaines vallées suspendues).

Il existe cependant même sous forêt dense, une certaine érosion. C'est le cas des associations pauvres à faible recouvrement du sol (« Fagetum nudum ») affectés par le ruissellement en nappe à la fonte des neiges (ruissellement préparé par le travail du gel; surgissement de « pipe cracks », destruction de la structure), ou par la « splash erosion » due à l'impact des grosses gouttes de pluie collectées par le feuillage. Mais vouloir attribuer à l'érosion la faible « évolution » de certains sols vosgiens est un leurre. Il suffit pour s'en convaincre de constater que sur grès près d'Aubure, des pentes atteignant 30° n'ont pas empêché le développement de podzols humo-ferrugineux sous bois de pins pourtant très ouverts et propices à l'érosion. Nous avons montré par contre le rôle de permier plan de l'érosion *ancienne*.

Il n'en reste pas moins vrai que la pente joue un rôle pédogénétique propre et important et freine le développement des profils et des processus podzolisants, le cheminement des eaux d'infiltration devenant oblique et se rapprochant du sens de la pente.

D. FACTEURS CHRONOLOGIQUES.

Les Hautes Vosges se trouvaient à partir de 900 m à l'étage nival pendant la glaciation wurmienne. Nous connaissons par ailleurs l'intensité des processus géomorphologiques périglaciaires vosgiens, décrits par TRICART. Aussi tous les sols de la région étudiée sont-ils nécessairement post-glaciaires, donc âgés d'environ 8 000 à 10 000 ans.

E. LA VÉGÉTATION : GÉNÉRALITÉS.

Son rôle dans la pédogenèse, par l'intermédiaire des débris qu'elle livre et qui sont la source de la vie du sol (microflore, microfaune) est primordial (**8**, **24**). En effet les microorganismes sont responsables des processus d'humification. De plus, par l'intervention de leur chimisme étroitement connecté par ailleurs aux plantes vivantes au niveau des racines (rhizosphère, excrétas racinaires acides), les microflores interviennent indirectement dans les transferts et transformations de presque tous les éléments minéraux. Or, c'est la végétation qui tient la microflore sous sa dépendance (**12**). La végétation agit en plus par ses incidences sur le microclimat qui influence tous les processus pédogénétiques et parmi ceux-ci, à nouveau la microbiologie. L'on peut dire avec le pédologue russe POLINOV que le sol est la couche la plus épaisse et la plus continue de la biosphère ».

La végétation d'une région correspond à des séries de complexes « *d'associations* » (Ordres et classes des phytosociologues restent généralement dans le cadre climatique) qui sont sous la dépendance du climat général. Les unités hiérarchiques inférieures (associations, sous-associations, variantes) sont conditionnées en plus par des facteurs écologiques

d'importance subordonnée comme la géologie, le microclimat, la topographie, l'action humaine, et par la géographie qui conditionne le nombre d'espèces végétales en présence en fonction de l'histoire de la flore d'un lieu donné. Dans le cas du Massif du Hohneck les groupements végétaux primaires (Hêtraies-Sapinières sous forme de diverses associations, Hêtraie des sommets, landes et pelouses subalpines des « Hautes Chaumes » et cirques), ou secondaires des pâturages de l'étage forestier, sont producteurs d'une série différenciée de types d'humus. Dans nos sols pauvres en argile, ce sera l'humus, élément partiellement colloïdal et échangeur d'ions essentiel, qui sera le facteur pédogénétique prédominant.

L'humus (pris ici au sens large de matière organique totale du sol, litière exclue) est en général très abondant dans nos sols, ce qui caractérise d'ailleurs l'ensemble des sols de montagne. En effet l'humus a tendance à s'accumuler lorsque le climat devient froid. La production moyenne annuelle de matière organique par la végétation diminue avec l'altitude par suite du rétrécissement progressif de la saison de végétation, mais la vitesse de décomposition diminuant encore plus rapidement il y aura en moyenne d'autant plus d'humus dans le sol que l'altitude est plus élevée.

Mais ce schéma classique est très fortement perturbé par l'intervention des associations végétales, les unes favorables à la microflore, les autres pas, ce qui a pour résultat, la plupart des autres conditions et en particulier, *les conditions climatiques étant égales*, une accumulation humique plusieurs fois plus forte dans certains sols que dans d'autres.

Les propriétés de l'humus de même dépendent, comme sa qualité, autant des végétaux fournisseurs que du climat (ceci en latitude moyenne au climat non excessif). Il existe de la sorte une interrelation sol-végétation si intime qu'il devient souvent très difficile de dire si tel sol possède telles propriétés parce qu'il porte telle végétation, ou si, au contraire, la végétation est la résultante des propriétés du sol. L'étude particulière de certains sols de notre région nous permettra d'illustrer cette donnée.

Au point de vue de *l'histoire de la flore* il faut noter l'absence d'Épicéas indigènes dans les Vosges. En effet, cet arbre est acidifiant et favorise la podzolisation, comme on peut l'observer en Forêt-Noire où il existe des forêts naturelles anciennes d'Épicéas. *Picea abies* y est en effet arrivé dès le début du post-glaciaire, alors que le non-indigénat de cette espèce dans les Vosges vient d'être définitivement prouvé par Lemée. Ceci n'exclut pas l'hypothèse que quelques îlots d'Épicéas, étroitement confinés et reconnus âgés de plusieurs siècles, soient étrangers à l'introduction humaine volontaire (**33**) (par ex. en forêt du Kerthoff, près de Gérardmer). Mais nous nous plaçons ici au point de vue sociologique quantitatif.

III. LA MICROTOPOGRAPHIE EN RAPPORT AVEC LES SOLS ET LES PHÉNOMÈNES ACTUELS DE SOLIFLUCTION ET DE CRYOTURBATION

Dans une étude détaillée G. Rempp et J. P. Rothé (**50**) ont attiré l'attention dès 1935 sur l'existence dans les Hautes Vosges, de mouvements du sol attribués aux effets du gel et du dégel. Ceux-ci se traduisent dans la microtopographie et selon la pente par deux formes typiques, « les sentiers de vaches » sur les versants suffisamment inclinés et les « buttes gazonnées » sur les surfaces planes. Ce sont des formes exclusivement localisées aux pâturages sommitaux.

1° Les « sentiers de vaches » ou « pentes à terrassettes ».

Dans l'étage subalpin des Hautes Vosges, certaines pentes présentent des petits replats ou sillons, larges de un à plusieurs décimètres et plus ou moins anastomosés, mais toujours très allongés (des dizaines de mètres) et grossièrement parallèles aux courbes à niveau, dessinant ainsi une succession de terrassettes. Ces replats ou sillons sont en général dénudés ou peuplés seulement de Mousses et de Graminées, évoquant ainsi des sentiers, alors que les parties en pente qui les relient entre eux sont couverts de végétation à dominante d'Éricacées suffrutescentes (Myrtilles, Callune) accompagnées des autres constituant de la lande typique des Hautes Chaumes, ou parfois par la pelouse à *Nardus stricta* et *Festuca rubra commutata*. Il peut arriver cependant que ce soient les replats qui portent le couvert végétal, alors que les bandes restent plus ou moins nues. Le bétail utilise ces sentiers et contribue notablement à leur dynamique, les accentuant. Mais il n'est pas à l'origine de leur formation : les sentiers se trouvent aussi dans les zones non soumises au pacage.

Ces formations ont été décrites dans toutes les régions montagneuses de la zone tempérée, ainsi que dans la zone subarctique, où elles sont d'observation très courante (Scandinavie, Islande, Groenland) (**15**). Elles ne sont cependant pas liées au climat froid : on observe des terrassettes dans les montagnes de la zone méditerranéenne et même tropicale (**15**, P. JAEGER, inédit). La genèse de ce modelé reste encore obscure. Dans les Vosges le phénomène pourrait être dû à une forme de solifluction ayant pour origine probable l'imbibition de la couche superficielle du sol par les eaux de fonte des neiges au-dessus d'une couche de terre gelée, mais cette condition suffisante n'est pas nécessaire pour la formation des terrassettes.

Les conditions optima pour le développement du modelé à terrassettes sont, d'après ce que nous avons observé :

— une pente de 15° à 35°;

— une teneur suffisante en éléments fins.

Dans le Massif du Hohneck granitique aux sols à granulométrie grossière le phénomène est moins fréquent et moins développé que dans la zone de la grauwacke, dont la terre est de texture plus fine et où les terrassettes sont plus étroites et plus nombreuses par unité de surface que sur le granite. (En dehors des Vosges, par exemple, les versants calcaréo-marneux ou schisteux des Pré-Alpes couverts par l'association à *Sesleria coerulea* et *Carex sempervirens* présentent sur d'immenses surfaces un modelé à terrassettes très typique.)

— L'Exposition Sud semble être favorable, peut-être parce qu'elle multiplie les alternances superficielles gel-dégel. Le vent balayant la neige de la crête des Hautes Vosges agit dans le même sens; la couverture neigeuse reste peu épaisse, rendant ainsi la pénétration des cycles de gel et de dégel plus aisée.

— Une couverture végétale de pelouse. La végétation seule permet l'individualisation des terrassettes et l'extériorisation du mouvement de solifluction. Les pelouses à Graminées et Cypéracées semblent plus favorables que celles à sous-arbrisseaux dont le système racinaire très puissant et anastomosé oppose un frein plus sérieux aux déchaussement.

Le pacage. — Il entretient et intensifie le phénomène, contribuant à maintenir les replats vides de végétation. Depuis la régression de l'élevage des Hautes Chaumes Mousses et *Nardus* conquièrent les sentiers qui deviennent moins apparents.

2° Les buttes gazonnées.

Elles se manifestent sur des surfaces planes ou de pente inférieure à 10° aussi bien sur granite que sur grauwacke, et sont plus intéressantes que les terrassettes par les conclusions microclimatiques qu'elles permettent.

Dans le Massif du Hohneck c'est entre 1 250 et 1 350 mètres, sur la crête battue par le vent, que se trouvent les plus beaux réseaux de buttes : sur la crête entre les Spitzköpfe et le Kastelberg, sur la vaste coupole du Kastelberg lui-même, au Petit Hohneck, entre le Rothenbachkopf et le Batteriekopf. Il s'agit de buttes de 50 cm à 1,20 m de diamètre, hautes de 20 à 30 cm par rapport aux dépressions qui les séparent, dépressions larges de 15 à 40 cm et formant un réseau compliqué.

Du point de vue de la végétation il faut noter que les formations en buttes gazonnées représentent souvent une mosaïque de groupements. Les buttes sont, dans les Hautes Vosges, couvertes de grandes touffes de Myrtilles (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis idaea*, plus rarement *V. uliginosum*), de Bruyères (*Calluna vulgaris*), végétaux dominants auxquels se joignent *Genista pilosa*, *Anemone alpina* et quelques petites touffes de Graminées, surtout *Deschampsia flexuosa*. La présence des sous-arbrisseaux, relativement élevés, contribue à accentuer le relief des buttes. Les sillons, par contre, présentent une végétation herbacée surtout graminéenne, parfois lacuneuse. *Nardus stricta* y domine, accompagné par *Festuca rubra commutata*, *Leontodon pyrenaicus*, *Selinum pyrenaicum*, *Galium saxatile*, *Potentilla tormentilla*, *Carex pilulifera*, etc. Pour les sillons très étroits la végétation devient même presque nulle, se réduisant à quelques faibles pieds de Nard et des coussinets de *Polytrichum juniperinum*.

Cette ségrégation sous-arbrisseaux-plantes herbacées est générale aux formations en buttes qui, elles, sont spécifiques des régions subarctiques, et des hautes montagnes de la zone tempérée où elles se développent sur les crêtes battues par le vent :

Ainsi en Islande les réseaux de buttes, très répandus, portent le nom de « thufur ». Indiquons aussi à titre de comparaison qu'en Norvège nous avons observé des réseaux de buttes très développés sur les hauts plateaux des « Viddas » (Hardanger) et dans les régions montagneuses. Dans le Sognefjell par exemple vers 1 300 mètres sur une faible pente de moraine de fond argileuse les buttes étaient colonisées par *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *V. vitis idaea*, *Phyllodoce coerulea*, *Calluna vulgaris*, Éricacées suffrutescentes accompagnées d'*Empetrum nigrum*, du Bouleau nain (*Betula nana*), de *Cornus suecica*, *Trientalis europaea*, alors que les sillons étaient peuplés de *Nardus stricta*, *Sibbaldia procumbens*, *Gnaphalium supinum*, *Carex atrata*, *Viola palustris*, etc. en peuplements lâches laissant apparaître le sol nu. Dans les Préalpes Lucernoises de même vers 2 000 mètres, les sols argileux dérivés des schistes liasiques présentent des réseaux à buttes atteignant 50 cm de haut et colonisées par l'association à *Cetraria islandica*, *Loiseleuria procumbens*, Vaccinies (les 3 espèces), *Lycopodium alpinum*, les creux étant toujours occupés par le Nard.

Rempp et Rothé, d'accord avec d'autres auteurs, attribuent ces formations à des effets de la *cryoturbation*. Le mécanisme exact de leur genèse n'est pas encore établi avec certitude. Mais la ségrégation et la croissance de lentilles de glace à l'intérieur des buttes, qui ont pu être vérifiées par les auteurs susnommés, jouent un rôle prépondérant et s'accompagnent d'un déplacement des pierres vers l'extérieur des buttes. Il en résulte que les buttes sont constituées uniquement de terre fine très riche en humus (40-50 % de matières organiques, en poids, ce qui fait beaucoup plus en volume), alors que la terre des dépressions séparant les buttes est plus pierreuse. C'est justement l'humus, en l'occurrence un « Moder » 2 à 3 fois plus épais que dans la lande exempte de buttes, très acide (pH 4), très désaturé, qui, par sa très forte capacité de rétention d'eau, constitue un facteur éminemment favorable à la formation de volumineuses lentilles de glace. L'argile des substrats schisteux ci-dessus

décrits en comparaison ayant des propriétés hygrophiles analogues, son effet est cumulatif. De même la pénétration profonde du gel, facteur nécessaire, est favorisée sur la crête par l'absence de neige protectrice du fait de la déflation éolienne. Aussi les réseaux de buttes contribuent-ils à mettre en évidence le *caractère subpolaire* du climat de la crête vosgienne.

Toutes les topographies à « buttes gazonnées » de la crête vosgienne ne peuvent cependant être rapportées à des manifestations de la cryoturbation. En effet, dans la région allant du Gazon-Martin, Gazon de Faîte, au Reisberg, au Nord de la Schlucht, les buttes d'apparence banale ont une origine particulière. C'est le mérite du grand botaniste alsacien Issler d'avoir reconnu et décrit ce type de buttes (cité in Rempp). Celles-ci sont d'*origine purement végétale*. Si l'aspect général du tapis végétal — la Bruyère domine ici sur les Myrtilles — est celui qui est habituel des Hautes Chaumes, les buttes, elles, sont formées par un épais coussin de Muscinées, essentiellement de Sphaignes, et colonisées par de grandes touffes de Bruyère, de Myrtille, de *Vaccinium uliginosum* et parfois d'*Empetrum nigrum* ssp. *nigrum*, espèce arctico-alpine rare dans les Vosges.

Si l'on fait une coupe dans l'une de ces buttes l'on constate qu'elle est formée sur toute son épaisseur exclusivement de tissus morts de Muscinées (non transformés en tourbe), et à l'emplacement de chaque butte l'on trouve plutôt une légère dépression de terrain. Il s'agit donc de microtourbières bombées, alimentées exclusivement par les pluies. En effet elles manifestent des signes de dépérissement sur leurs flancs Est, opposés aux vents de pluie, ce qui limite leur croissance et conditionne un état d'équilibre à un stade correspondant à la taille des buttes gazonnées.

La forme, les dimensions, l'aspect dus à la présence des sous-arbrisseaux, peuvent être exactement les mêmes que ceux des buttes d'origine cryopédologique, alors que la genèse est totalement différente. Mais ces buttes à sphaignes sont notablement plus éloignées les unes des autres que ces dernières et ne forment que rarement un véritable réseau. La végétation de la lande environnante, qui comporte également des réseaux de buttes « vraies », est d'ailleurs singularisée en plus de l'abondance de la Callune, par la présence de-ci de-là d'espèces hygrophiles comme *Juncus squarrosus*, *Trichophorum caespitosum*, *Molinia coerulea* (qui caractérisent les tourbières de pente ou les tourbières mortes asséchées) ou *Succisa pratensis*, *Sanguisorba major*, hygrophiles transgressives des prairies humides de la plaine (moliniaies, prairies à *Cirsium oleraceum*). Celles-ci attestent l'humidité anormale de toute cette portion de la crête, due à la topographie générale de plateau très faiblement incliné vers l'Ouest et au décapage du substratum arénacé par un névé mettant à nu la roche compacte imperméable. Dans un ensellement de cette crête s'est d'ailleurs développé une tourbière bombée ombrophile ayant accumulé plusieurs mètres de tourbe, depuis le début du post-glaciaire, ce qui a permis à Lemée de préciser remarquablement l'histoire post-wurmienne de la végétation du faîte vosgien.

Notons de même que l'on trouve parfois la Myrtille régulièrement disséminée par touffes dans certaines nardaies (Lauchenkopf), aspect pouvant rappeler vaguement celui des réseaux des buttes, n'était l'espacement des touffes et la microtopographie parfaitement plane.

IV. LES SOLS DE L'ÉTAGE FORESTIER MONTAGNARD

1° Définition de l'étage montagnard.

Entre 500 mètres (versant lorrain) ou 700 mètres (versant alsacien) et 1 000 mètres à 1 100 mètres environ, la majestueuse couverture de Sapins blancs et de Hêtres s'étend,

presque sans lacunes, sur les vastes pentes du Massif du Hohneck. C'est elle qui contribue à la renommée et conditionne la valeur économique des Hautes Vosges.

Il s'agit d'une végétation naturelle, en équilibre avec le climat de cet étage. Ce dernier se définit par les conclusions écologiques que permet l'association de ces deux arbres, à savoir l'existence de conditions océaniques fraîches, humides et régulières. En effet les moyennes annuelles oscillent dans cette tranche d'altitude entre 7° et 5°, correspondant à environ —1° à —2° pour le mois le plus froid, et 13° à 15° pour le mois le plus chaud, ce qui nous fait un écart thermique annuel de 15° à 16°. L'air et le sol restent toujours relativement humides. Les brouillards sont fréquents. La pluviosité de caractère océanique, même sur le versant alsacien, grâce à la proximité de la crête, oscille entre 1 200 et 1 800 mm par an.

La *limite inférieure* de l'étage est essentiellement thermique, et sur le versant alsacien, xérique. C'est en effet à partir de 600 mètres que nous assistons à l'extinction du Chêne sessile et de tout un cortège d'espèces thermophiles disparaissant avec le Chêne au-delà de cette altitude. Citons ainsi des buissons comme l'Aubépine, le Noisetier, des herbacées comme *Teucrium scorodonia*, *Potentilla sterilis*, *Stellaria holostea*, *Luzula forsteri*, *Euphorbia amygdaloides*, *Polygonatum officinale*, *Genista germanica* et *G. tinctoria*, *Silene nutans*, *Campanula persicifolia*, etc.

La *limite supérieure* est marquée par la disparition du Sapin et l'individualisation d'associations végétales très particulières aux Hautes Vosges. C'est un ensemble de faits, qui, traduisant un changement climatique, nous permettra de définir clairement un étage subalpin.

2° Les groupements végétaux.

La Hêtraie-Sapinière ou la Sapinière de notre étage se présentent sous des types divers qui correspondent à trois grandes associations principales, chacune d'elles étant subdivisée en sous-associations et variantes. Ces dernières restent encore à préciser cependant. En effet, si Issler a clairement tracé le cadre des associations, les progrès de la phytosociologie dans ces vingt dernières années permettent de définir des unités plus précises. En ce qui concerne le versant lorrain (Basses Vosges gréseuses et granitiques) les travaux pédologiques et écologiques de Duchaufour ont contribué à combler cette lacune (**21, 22, 23** voir aussi **51**).

Le tableau ci-dessous nous donne un aperçu sur l'insertion de nos 3 groupements dans la hiérarchie sociologique actuelle.

Complexe écologique des forêts de hêtres et caducifoliées mixtes à charme : Ordre des *Fagetalia*	En montagne une seule alliance :	1° Hêtraies-Sapinières à *Luzula nemorosa*, pauvres en espèces sur sols secs acides : *Luzulo-Fagetum* (sous-alliance du *Luzulo-Fagion*).
	Hêtraies-Sapinières montagnardes subatlantiques ou méditerranéo-montagnardes : Alliance du *Fagion*	2° Hêtraies-Sapinières à *Festuca sylvatica*, riches en espèces, sur sol frais et faiblement acide : *Festuceto-sylvaticae-Abieti-Fagetum* (sous-alliance du *Eu-Fagion.)*
		3° Forêts mixtes de Sapins et d'Épicéas très moussues, très pauvres en espèces, très acidophiles : *Hylocomieto-lorei-Abietetum* (sous-alliance de l'*Abieto-Piceeion*)

3° Les sols correspondants.

A. LES SOLS OCRE-PODZOLIQUES DU LUZULO-FAGETUM.

Aperçu phytosociologique :

La Hêtraie ou surtout la Sapinière (pour les Vosges le nom de Luzulo-Abietetum serait plus conforme) à Luzule blanchâtre est l'association de loin la plus répandue, dominant largement les deux autres groupements. On la trouve par ex. sur les deux versants du Hohneck, tout au long de la route du col de la Schlucht entre Soultzeren et Gérardmer. Il s'agit typiquement d'une *Sapinière pauvre en Hêtres*, comprenant des Épicéas introduits, quelques rares Sorbiers (Sorbus aucuparia), Érables sycomores, et en sous-bois buissons de Houx, la strate arbustive étant à peu près nulle.

La strate herbacée, pauvre en espèces (environ 12-15 phanérogames par 100 m² en moyenne) est dominée par les coussinets vert tendre de la gracile Canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*), par la Myrtille et par la Luzule blanchâtre qui, par son abondance et sa haute fréquence, a servi à dénommer le groupement. La distinction des sous-associations se base en partie sur l'abondance-dominance relative de ces 3 espèces. En ajoutant *Luzula maxima*, *Oxalis acetosella*, *Prenanthes purpurea*, *Polystichum spinulosum*, *Hieracium sylvaticum*, *Melampyrum pratense*, *Senecio fuchsii*, *Solidago virga aurea*, *Athyrium filix femina*, *Polystichum filix mas*, *Epilobium montanum*, la liste des espèces importantes est close.

Les Mousses jouent souvent un rôle notable, de grands coussinets d'Hypnacées sociales couvrant partiellement le sol. Les principales sont *Hylocomium splendens*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Thuidium tamariscinum*, *Pleurozium schreberi* et *Polytrichum attenuatum*, indicatrices d'acidité. *Rhytidiadelphus loreus* marque une préférence pour la limite supérieure de l'étage, sur le versant alsacien.

Comme exemples des sols correspondants nous choisirons 4 profils situés dans la Sapinière entre Soultzeren et le col de la Schlucht. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques stationnelles des prélèvements.

1° Au-dessus de Soultzeren-Eichwäldle, alt. 740 m, exp. : S, pente 15°. Arène granitique solifluée. Végét. Sapinière avec quelques Hêtres, Épicéas et même Pins. Sous-bois à Myrtille et Canche : *Luzulo-Fagetum myrtilletosum* (variante à Deschampsia ?).

2° Bois de Soultzeren. Alt. 830 m, exp. SE, pente 15°. Arène d'altération in situ. Sapinière à Canche et Luzule blanchâtre : *Luzulo-Fagetum typicum.*

3° Près du col de la Schlucht, cirque du Schluchtbach. Alt. 1 060 m, exp. Sud, pente 25°. Arène solifluée mêlée de blocs d'éboulis. Sapinière à Hêtres, Myrtille, Canche et Mousses (H. loreum).

Tous les sols sont sur granite des Crêtes.

Caractères morphologiques.

De haut en bas on distingue un horizon humifère de surface (A_1), un horizon humifère de transition (A_{11}), un horizon minéral sableux ou terreux B, brun à brun rougeâtre, enfin une zone minérale plus claire (BC), sableuse ou pierreuse, faisant transition avec la roche-mère (C) et correspondant à la partie encore légèrement transformée par les agents météoriques. L'épaisseur des profils est variable : 40 à 60 cm sur fortes pentes, 70 à 90 cm sur pentes faibles.

L'horizon humifère de surface A_1 : De couleur brun foncé noirâtre, il a une épaisseur de 4 à 10 cm (moyenne 5 à 6 cm). Il est formé de petits agrégats motteux très peu stables,

sablo-granuleux très friables lorsque secs. Ces agrégats comprennent des grains minéraux plus ou moins entourés de matière humique, mais également une forte proportion de grains tout à fait libres, blancs, essentiellement de quartz et de feldspath. L'odeur de moisi, de champignon, que dégage cet humus est caractéristique. Il est truffé de racines, c'est la zone d'enracinement principale des vaccinies et des autres plantes sociales et la strate herbacée.

Un tel type d'humus porte le nom de *Moder*. C'est une forme d'humus acide d'origine essentiellement fongique et « coprogène », résidu de transformation des débris végétaux par une abondante microfaune. Il est faiblement humifié et ainsi intermédiaire entre le *Mull*, essentiellement colloïdal et d'origine bactérienne, par l'intermédiaire de l'activité d'une faune de lombrics et le *Mor*, très acide à apparence de tourbe, exclusivement fongique et très pauvre en colloïdes.

Lorsqu'un sol de ce type est mis en culture on reconnaît facilement le Moder à la présence en surface des mottes de terre brun-gris foncé d'un piquetage de grains minéraux blanchis. Ces derniers sont particulièrement apparents après une forte pluie, qui détruit la structure et provoque une séparation entre particules minérales et organiques, d'autant plus radicale que le Moder se rapproche plus du Mor.

L'horizon humifère de transition A_{11} : Épaisse de 15 à 20 cm, de couleur brun gris, cette zone représente un humus à l'état colloïdal assez intimement mélangé à la fraction minérale sableuse. Il s'agit d'une sorte de Mull acide issu de l'évolution du Moder. La structure est faible et instable, les racines sont encore abondantes. La teneur en matière organique décroît rapidement de haut en bas.

L'horizon minéral B ocracé : Sableux, caillouteux, sans structure (parfois très légèrement induré sur une certaine épaisseur), d'une couleur nettement plus claire que les horizons susjacents, il laisse souvent apparaître dans un fond à dominance brun beige, une nuance ocracée. Cette couche épaisse de 15 à 30 cm est pauvre en racines et la fraction granulométrique très grossière (diamètre supérieur à 2 mm) y est très abondante, graveleuse s'il s'agit d'un sol sur arène en place, caillouteuse s'il s'agit d'un dépôt de pente soliflué.

L'ensemble du profil repose sur une couche d'arène mêlée ou non de blocaille, de couleur très claire brun-chamois ou beige. C'est l'horizon BC, certains processus pédologiques y restant encore décelables (p. ex. teneur en matière organique) formant la transition avec la roche-mère proprement dite C.

Caractères physicochimiques.

Ils sont réunis dans le tableau d'analyses ci-après (p. 120).

L'examen de ce tableau d'analyses permet de faire ressortir les *conclusions* suivantes.

La *couche humifère* est moyennement à fortement acide : le pH oscille entre 4,2 et 4,8. Il y correspond de *faibles taux de saturation* en bases du complexe absorbant. En moyenne le sixième seulement de la capacité d'échange des complexes humiques polaires faisant fonction d'échangeurs d'ions est occupée par des cations. Malgré cela la matière organique est assez humifiée. Elle est mélangée à une forte proportion de matière minérale, et l'on n'observe guère, en général, de couche organique pure (A_0) de surface ou « Mor » (« Auflagehumus »). La fraction minérale représente en effet environ les 3/4 en poids sec de l'horizon supérieur. Ces caractères traduisent une activité biologique encore notable, en particulier mécanique, de la microfaune du sol (Arthropodes). Les vers de terre appartenant à des espèces particulières ne sont pas absents, quoique peu nombreux. Leur

présence a pour effet la formation de complexes argilo-humiques. L'activité de la microflore est cependant déjà limitée par la forte acidité, ce que montre le *rapport carbone/azote de la matière organique*, qui va de 17 à 20. (Rappelons que le rapport C/N des déchets végétaux frais oscille entre 30 et 50, moins pour les Légumineuses. Leur dégradation microbienne s'accompagne d'une utilisation énergétique des chaînes carbonées, le carbone étant finalement cédé à l'atmosphère sous forme de CO_2, alors que l'azote, minéralisé d'une part, constamment réutilisé par la microflore d'autre part, et incorporé dans certains complexes humiques, subit des pertes moindres. Il en résulte une baisse constante du rapport C/N qui, dans les sols fertiles à forte activité biologique, s'établit aux environs de 10). Aussi la microflore est-elle surtout fongique, ce qui se traduit par l'existence de nombreux Basidiomycètes supérieurs dans nos sapinières à Moder. Cette dualité de caractère : forte acidité mais bonne humification, est bien l'une des caractéristiques des « Moder ».

N°	Horizons prof.	dés.	pH (H_2O)	Granulométrie % A	L	SF	SG	mat. org.%	C%	N%	C/N	complexe absorbant à pH 7,0 m. éq. gr. % Ca++	Mg++	S	T	V%	fer libre Fe %	fer B / fer A_{11}
1	1-4	A_1	5,1					25	13,4	0,73	18,3	3,5	1,3	5,1	27,0	19		
	20-25	A_{11}	4,8	10	11	20,5	47					2,6	0,6	3,5	16,6	21	0,8	2,3
	40-50	B	5,4	11	14	18	45					0,9	0,6	1,7	17,2	10	1,8	
2	1-3	A_1	4,6					23	12,1	0,69	17,4	2,4	1,2	3,6	25	14,4		
	5-15	A_{11}	4,6	14	14	17	46					0,5	0,8	1,4	14	10,0	2,1	1,15
	30-40	B	4,8	11	16	19,5	50					0,6	0,4	1,2	7	17,0	2,4	
	60-70	BC	5,1	6	12	23	57					0,5	0,4	1,2	4,8	25,0	1,4	
3	1-5	A_1	4,2					14	7,8	0,38	20,6	2,5	1,5	5,4	33,5	16,1		
	5-15	A_{11}	4,2	14	15	18	42					0,5	0,6	1,6	19,6	8,1	2,3	
	20-30	A_{12}	4,4	10	17	20	43					0,5	0,5	2,2	19,6	11,2	2,5	1,9
	40-60	E	5,0	6	10	24,5	49,5					0,4	0,4	1,2	17,6	7,0	4,3	

Résultat en % de terre fine (traversant un tamis de 2 mm à trous ronds) séchée à l'air.

A. = Argile, particules de diamètre < à 2 µ.

L. = Limon, particules de diamètre allant de 0,002 à 0,02 mm.

S.F. = Sable fin, particules de diamètre allant de 0,02 à 0,2 mm.

S.G. = Sable grossier de diamètre allant de 0,2 à 2 mm.

S. = Bases totales échangeables, à pH 7.

T. = Capacité d'échange : quantité maximum de cations que le sol peut fixer à pH 7.

$V. = \frac{S}{T} \times 100$ = Taux de saturation en bases du complexe absorbant.

M.O. = Matière organique.

m. éq. gr. = milliéquivalents grammes - Équivalent = Poids atomique/valence.

L'acidité de l'humus laisse prévoir un *début de dispersion des colloïdes organiques*. En effet, sous l'action des eaux de pluie, des quantités assez notables de pseudo-solutions colloïdales sont libérées. La couleur légèrement jaunâtre des eaux des ruisseaux de la zone des sapinières en témoigne ainsi que l'augmentation, fréquente, du rapport C/N vers la profondeur, les composés humiques solubles étant particulièrement pauvres en azote.

Il y a donc un certain lessivage de colloïdes humiques, dans le cas étudié surtout des « acides fulviques », peu colorés, qui imprègnent la partie du profil sous-jacente à la couche humifère (A_{11} ou A_{12}) et provoquent un début d'attaque des silicates avec libération des

sesquioxydes (fer et aluminium), ce qui aboutit au blanchiment des grains minéraux. L'examen des sables, isolés lors de l'analyse granulométrique, est significative à cet égard. Or, cette attaque de minéraux sous l'action de sols humiques acides caractérise la première phase de la podzolisation.

Aussi les sols des Sapinières à Myrtilles et *Deschampsia* doivent-ils être classés dans la série des *sols bruns podzoliques*, aujourd'hui dénommés *ocre-podzoliques* et leurs propriétés se résument ainsi :

1° Il n'y a *aucun indice de lessivage d'argile* et de formation en profondeur d'horizons plus compacts. L'argile est nettement plus abondante en surface. Elle semble provenir partiellement de la décomposition actuelle sous l'influence de facteurs météorologiques et biologiques plus actifs en surface des minéraux, en particulier des feldspaths calcosodiques et des phyllites. Mais en milieu podzolique, l'argile est labile, les acides humiques libres provoquant une scission des minéraux argileux, ce qui explique la faiblesse des teneurs générales.

2° La teneur en fer libre, élevée, est en rapport avec la richesse du granite des Crêtes en cet élément, et traduit une hydrolyse avancée des minéraux. (Mais la fréquence de formations d'altération anciennes, riches en oxyde de fer au départ, doit être considérée. Nous manquons d'analyses d'arène dont les teneurs initiales en fer et argile varient avec les conditions géomorphologiques !) Parallèlement, *le lessivage du fer* reste faible comme le montrent les rapports des teneurs des horizons B et A : l'indice d'entraînement du fer (Fer B/Fer A) reste en moyenne inférieur à 2. Enfin il *est impossible de distinguer un horizon d'élution caractérisé*, gris cendreux (A_2) entre la couche humifère et l'horizon B légèrement enrichi en oxyde de fer. C'est justement l'absence d'individualisation d'un horizon d'élution blanchi qui caractérise les sols du groupe *ocre-podzolique* et les distingue des sols *podzoliques*.

3° Il est frappant de trouver d'assez *mauvaises concordances entre l'acidité* (taux de saturation en bases $V°_0$) *et l'indice d'entraînement du fer*. L'humus peut se modifier en surface, sous l'influence de pratiques forestières, par exemple, sans que les horizons inférieurs ne subissent de changement. Ceci est particulièrement caractéristique des sols sur granite, assez résistants à la podzolisation, contrairement aux sols gréseux. Pour les sols granitiques ce sont les propriétés de la couche humière superficielle qui constituent le critère essentiel. Pour les sols sur grès par contre, l'on trouve sous la même association végétale et sous un humus aux propriétés générales voisines, un sol *podzolique* à horizon cendreux individualisé, quoique irrégulier, sinueux et mince (DUCHAUFOUR, 21).

Ces sols que l'on serait tenté d'appeler peu évolués sont cependant, comme la végétation, en équilibre avec les conditions écologiques ayant présidé à leur formation et stables tant que celles-ci ne sont pas perturbées par l'homme. Ils n'évoluent vers la podzolisation que dans des conditions particulières que nous allons examiner.

A l'inverse ils peuvent être remplacés fréquemment par des sols plus riches totalement exempts de processus podzolisants. En effet la Sapinière à Myrtilles a été *largement favorisée par l'homme*, qui par des coupes répétées a provoqué une légère acidification des sols, surtout sur les versants exposés au Sud, plus labiles à cet étage. Si la Sapinière à Myrtilles se trouve être très proche du climax, et elle l'est sur les pentes exposées au Sud et à l'Est, sèches en été et de ce fait favorables à l'acidification de l'humus, le véritable complexe édapho-phytoclimatique de la zone montagnarde des Hautes Vosges cristallines doit être recherché dans une sapinière moins acide, mêlée des Hêtres, devenue aujourd'hui plus rare. Elle correspond au *Festuceto-sylvaticae-Fagetum*, la Sapinière herbeuse à *Festuca sylvatica* d'aspect luxuriant, riche en espèces et très productive.

A l'opposé, des surfaces bien plus faibles sont remarquables par l'abondance des Épicéas mêlés aux Sapins ou par la présence du Pin sylvestre. Ces endroits correspondent à des replats topographiques, des hauts-plateaux, ou surtout à un substratum morainique, et portent des sols beaucoup plus évolués dans le sens de la podzolisation. La forêt

s'identifie à l'*Hylocomieto-Abietetum* caractérisé par une végétation au sol très pauvre en espèces, celles-ci étant des acidiphiles strictes.

Examinons d'abord ce dernier cas afin de préciser les facteurs de la podzolisation. L'existence de sols podzoliques sur granite, dans les Vosges, n'était pas connue jusqu'à présent.

B. LES SOLS PODZOLIQUES DE L'HYLOCOMIETO-ABIETETUM.

Aperçu phytosociologique.

Le nom de cette association provient de l'importance qu'y acquièrent les Muscinées, en particulier *Hylocomium loreum*. Elle est encore insuffisamment étudiée dans les Vosges et en tout cas proche de celle étudiée en Forêt-Noire par OBERDORFER (**7b**) sous le nom de *Luzulo-Abietetum*.

Bien que l'Épicéa soit dans les Vosges propagé par l'homme, il trouve cependant dans ces stations des conditions écologiques favorables et s'y maintient par reproduction naturelle en proportion notable avec le Sapin. Le Pin sylvestre qui trouve dans la région gréseuse de Fréland-Aubure et d'Orbey un très beau centre de dispersion naturel et *originel*, est plus rare, car très peu concurrentiel du fait du climat très humide de l'étage. Il est exclusivement confiné aux substrats les plus pauvres et suffisamment secs.

Ces Conifères dominent de façon absolue dans la strate arborescente. La strate arbustive est peu développée et comprend *Sorbus aria* s'associant à *S. aucuparia*. La végétation au sol, dont le degré de recouvrement varie beaucoup, est toujours très pauvre en espèces, celles-ci étant surtout ligneuses. En effet la Myrtille y domine nettement et est caractéristiquement accompagnée par l'Airelle rouge (*Vaccinium vitis idaea*) parfois la Callune. A ces trois Éricacées se joignent la Canche flexueuse, seule Graminée présente, mais en quantité faible, et quelques Fougères, principalement *Polystichum spinulosum-euspinulosum* et *Blechnum spicant*.

C'est la luxuriance de la strate muscinale qui caractérise les associations de l'*Abieto-Piceeion*, au niveau desquelles se réalise le contact écologique entre les forêts de Conifères nordiques et continentales (*Vaccinio-Piceeion*) et la Hêtraie-Sapinière subatlantique tempérée (*Fagion* s. l.). Il y correspond dans les Vosges un contact géographique aréal Épicéa-Sapin, ces arbres se trouvant respectivement à la limite Sud-Ouest et Nord-Est de leur aire. La plus abondante parmi ces Mousses est *Hylocomium loreum* qui a donné son nom au groupement et se trouve ici à son optimum. Elle est associée à *H. splendens*, *Rhydidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum scoparium*, *Polytrichum formosum* et, surtout aux espèces suivantes qui sont caractéristiques (différentielles) de l'association : *Ptilium crista castrensis*, *Plagiothecium undulatum*, *Bazzania trilobata*.

Cette association étant peu fréquente et localisée par îlots, nous en choisirons plusieurs exemples pour montrer son déterminisme écologique :

1° *Rebord de cirque boisé : Hirschsteinried.*

En tête du ruisseau de l'Altenberg et au bord de la route de la Schlucht, nous trouvons à 1 000 mètres d'altitude le petit cirque boisé du Hirschsteinried. La cuvette est occupée par une tourbière plate à Sphaignes et *Polytrichum commune*, intéressante par la présence de *Listera cordata* et boisée de Bouleaux pubescents, d'Épicéas, de Sorbiers. Sur ses bords se trouvent des amas morainiques peuplés d'Épicéas tutélaires et d'un sous-bois correspondant sensiblement à la description que nous venons de faire. Nous choisirons un profil dans un site marginal exempt de toute trace d'hydromorphie. Nous aurions pu trouver dans

la région du cirque du Missheimle des exemples identiques, plus difficiles d'accès mais singularisés par la présence de *Lycopodium annotinum*, excellente caractéristique de notre association rampant dans les épais tapis de Mousses qui recouvrent les blocs morainiques sous la grande futaie d'Épicéas.

Étude morphologique du profil. L'horizon humifère est très épais : 18 à 20 cm; il se subdivise aisément en trois sous-horizons :

1° En surface une litière de 1 à 2 cm d'épaisseur composée d'aiguilles d'Épicéas, de feuilles de Myrtilles à peine attaquées (couche l).

2° La « couche f » sous-jacente, dite de fermentation, épaisse d'environ 4 cm, constitue un « Mor » très peu humifié. Il s'agit d'un feutrage dense de couleur brun marron, de débris de plantes peu transformées, de structure reconnaissable à la loupe ou au microscope, abondamment parcouru de filaments mycéliens et composé d'aiguilles de Conifères, de feuilles de Vaccinies, de tissus d'Hypnacées. L'épaisseur de cette couche très acide caractérise bien ce sol, montrant la lenteur de l'attaque des résidus organiques, due à la réduction de l'activité biologique. Celle-ci est essentiellement fongique. La couleur brune intense traduit l'imprégnation des tissus par des composés humo-ligniques ou humo-tanniques.

3° La « couche h » humifère sous-jacente est elle-même très épaisse (10 à 12 cm). Il s'agit d'un *Mor* noir, collant, noircissant les doigts, constitué de granules humiques, séparés des particules minérales peu abondantes, en proportion beaucoup plus faible que dans les horizons A_1 des sols ocre-podzoliques.

Cette épaisse couche d'humus repose par une limite inférieure assez nette (cf. les Moder décrits précédemment à limite inférieure peu nette grâce à l'horizon de transition A_{11}), mais sinueuse, sur une mince couche irrégulière de 3 à 6 cm d'épaisseur, de couleur grisâtre, cendreuse, de texture sableuse où frappent les éléments minéraux d'un blanc pur, et de structure nulle. Il s'agit d'un horizon éluvial A_2 typique, auquel les minéraux blanchis hydrolysés par les sols humiques acides confèrent cet aspect cendreux caractéristique. La présence de cet horizon A_2, absent dans la série des sols précédents constitue le trait marquant de ce type de sol.

En dessous l'on trouve une importante couche (40 à 50 cm) d'arène rubéfiée de couleur ocre-rouille intense. L'oxyde de fer solubilisé dans les couches supérieures et entraîné en profondeur par les colloïdes humiques acides y a reprécipité et est responsable de cette teinte. La texture est sablo-caillouteuse, la compacité est à peine supérieure à celle de l'horizon supérieur : il n'y a pratiquement pas de structure. C'est l'ébauche de l'horizon B_2 de podzol ferrugineux.

Le tableau ci-dessous réunit les données analytiques obtenues pour ce sol.

Hirschsteinried. — Altitude : 1 000 mètres.
Pente : très faible.
Exposition : Nord.
Végétation : vieille futaie d'épicéas-sapins (100 ans).

Horizons prof.	dés.	PH (H_2O)	Granulométrie A.	L.	S.F.	S.G.	M. O. %	C%	N%	C/N	Complexe absorbant meq % Ca	Mg	S.	T.	V%	fer lib. Fe_2O_3%	fe B / fe A_2
2-6	A_0	3,9					83	45,5	1,72	26,3	11,8	4,4	17,7	115	15,4		
6-18	A_1						64	33,0	1,47	22,4	4,0	2,5	7,7	86,0	8,9		
18-25	A_2		3	15	20,5	42	14,5				1,4	1,2	3,4	27,0	12,5	1,3	1,8
40-60	B		9,5	16	22	47	8				0,4	0,5	2,5	35	7,1	2,3	

La couche humique présente un C/N de 26 pour la partie supérieure, de 22,5 pour la partie la plus importante correspondant à la couche h. Ces chiffres sont donc nettement plus élevés que ceux obtenus pour les sols ocres-podzoliques précédents. Il en va de même des taux de saturation en bases du complexe absorbant qui est inférieur à 1/10 de la capacité d'échange pour la couche h. Mais il faut remarquer aussi l'importance de la réserve minérale et azotée bloquée dans cet humus (S, N !).

L'indice d'entraînement du fer avec 1,8 reste cependant assez bas et semble en contradiction avec l'aspect morphologique. Nous avons déjà insisté sur la résistance du granite à la podzolisation, mais il faut tenir compte aussi de l'épaisseur de l'horizon B, ici plus importante que dans les sols ocres-podzoliques. Mieux que par l'indice d'entraînement du fer, ce type de sol sera caractérisé d'une part par l'individualisation de l'horizon cendreux, d'autre part par les propriétés de l'humus qui, très acide, répond à la définition d'un Mor typique.

Dans les *Podzols* vrais qui ne se rencontrent jamais sur granite dans les Hautes Vosges, la couche A_2 serait régulière et plus épaisse, l'horizon d'accumulation des sesquioxydes s'indurant sous l'effet du ciment colloïdal d'oxyde de fer et d'humus; la forte augmentation de l'indice d'entraînement du fer s'accompagne ainsi de l'apparition de concrétions.

Analysons les facteurs qui ont provoqué l'évolution de ce sol vers une acidification et une podzolisation plus avancée.

La topographie. — L'absence de pente entraîne un lessivage vertical intense. La situation en cuvette étroite, ouverte vers l'Est, conditionne un microclimat froid et humide.

La végétation. — L'Épicéa fournit une litière très pauvre en N et en bases, riche en terpènes, fortement inhibitrice de la microflore bactérienne. D'où un humus biologiquement inerte, se décomposant difficilement et producteur d'acides peu polymérisés, solubles, podzolisants. Le rôle dégradant de l'Épicéa vis-à-vis des sols, analogue à celui du Pin, a été souvent relevé. C'est d'ailleurs dans de telles stations que l'Épicéa arrive à concurrencer facilement le Sapin et nous fournit une fois de plus l'exemple d'un végétal créant lui-même des conditions favorables à son maintien. Le cortège floristique comprend par ailleurs surtout des Éricacées, elles aussi très défavorables à la biologie du sol.

La roche-mère. — Il s'agit d'une couche de moraine de cirque. L'accumulation de gros blocs est bien visible puisque beaucoup dépassent la surface du sol. Substrat originellement délavé et appauvri, particulièrement filtrant du fait de son hétérogénéité granulométrique et de la pauvreté en éléments fins.

2° *Moraine frontale de cirque sur verrou rocheux.*

Les lacs Blanc et Noir correspondent aux deux cirques les plus surcreusés du versant alsacien des Vosges. Sur les énormes moraines frontales tapissant des verroux de plus de 100 mètres d'altitude relative l'on observe des sols dont les propriétés sont proches de celles du profil que nous venons de décrire et répondent donc à la définition du sol podzolique. Le milieu se distingue cependant par le caractère nettement plus xérique de son écologie dû à la topographie convexe, alors que pour l'exemple précédent nous étions en topographie concave. Cela se traduit dans la végétation par la dominance du Pin sylvestre qui, au lac Blanc particulièrement, se présente sous forme d'arbres mal venus de 10 à 15 mètres de haut, couverts de Lichens. Le Pin se trouve ici nettement à sa limite climatique supérieure pour les conditions nordiques fortement océaniques de cette altitude (1 100 m). L'aspect nordique de la végétation est accentué par le grand nombre de Bouleaux

pubescents mêlés au Pin avec des Sorbiers notamment *S. aria*, et *Salix caprea*. La végétation au sol, toujours dominée par la Myrtille et riche en Airelle rouge, comprend aussi la Bruyère, plus xérophile. Le sol est couvert des mêmes Mousses que précédemment, avec en plus *Hypnum cupressiforme* également xérophile. Le Mor est très épais, jusqu'à 20 cm, comprenant une couche holorganique fibreuse brune très peu humifiée. L'horizon A_2 atteint 10 à 20 cm d'épaisseur, ce qui nous permet d'affirmer que ce sol est plus avancé dans le processus de podzolisation que le sol précédent. En effet le Pin est, plus encore que l'Épicéa, une espèce podzolisante de premier ordre. Or, classiquement confiné, à l'état naturel, aux sols les plus pauvres, non parce qu'il les préfère, mais parce qu'il échappe ainsi à la concurrence des autres arbres vis-à-vis desquels il n'est pas compétitif, il agit sur les sols siliceux comme l'Épicéa dans un sens favorable à sa perennité.

Voici l'analyse d'un profil (communiquée par P. Lossaint, Institut de Botanique de Strasbourg).

Lac Blanc. — Altitude : 1 060 mètres.
Pente : 10° à 15°.
Végétation : pinède.
Exposition : Nord.

Horizons prof.	dés.	Ph. (H_2O)	Granulométrie A.	L.	SF.	SG.	M. O. %	C%	N%	C/N	Complexe absorbant méq % Ca	Mg.	S.	T.	V%	fer lib. Fe%	fe B / fe A_2
2-5	A_0	4,1					30	14,7	0,58	25	n.d.	n.d.	3,3	38,5	8,5		
10-15	A_1	3,9	9,5	15	21	30,5	20,6	11,9	0,36	33	»	»	1,4	28	5	0,88	
20-25	A_2	4,1	6,5	17	25,5	33,5	13,5	7,8	0,23	33,8	»	«	1,0	21,5	4,5	1,10	1,9
30-35	B	4,4	5,5	9	20	40,5	15	8,8	0,24	36,5	»	»	2,5	57	4,4	2,1	

3° *Fond de haute vallée du versant occidental.*

Le Massif du Hohneck nous offre encore d'autres exemples de sols très évolués dans le sens de la podzolisation. Il en est ainsi des hautes vallées du versant lorrain, tapissées de moraine de fond. Nous choisirons comme exemple le Vallon de la Grande-Basse, marécageux, très évasé, à la topographie chaotique et à l'hydrographie indécise du fait de son encombrement par une épaisse moraine d'ablation. La forêt s'y subdivise schématiquement en deux groupements végétaux : l'*Hylocomieto-Abietetum*, et une association dont nous n'avons pas encore parlé à savoir la Sapinière à sphaignes, le *Sphagneto-Abietetum*, équivalent vosgien du *Bazzanio-Piceetum* des Pessières naturelles de Forêt-Noire. Cette dernière présente des sols podzoliques hydromorphes, c'est-à-dire marqués par une imprégnation hydrique permanente. Nous ne pouvons insister ici sur ce groupement. Nous ne considérerons que l'*Hylocomieto-Abietetum* dont une belle coupe de sol est visible au bord du chemin allant des Feignes-sous-Vologne au lac de Lispach, à 980 m d'altitude. Décrivons-la rapidement.

On y observe en surface un Mor A_0 d'environ 15 cm d'épaisseur, humus noir, poisseux, d'aspect gras, comportant plus de 60 % de matière organique, mêlé de grains minéraux grossiers, très apparents, blancs, de quartz et de feldspath orthose.

En dessous et par une limite assez nette, nous passons à l'horizon lessivé, A_2 gris cendreux, sans structure, d'épaisseur variable, mais atteignant 15 cm.

L'horizon d'accumulation d'oxyde de fer B_2 qui lui fait suite est très épais (30 à 40 cm) et frappe par sa couleur ocre-rouille intense. Il est cependant meuble et non induré. Il est surmonté par places d'un liseré noirâtre de 1 à 3 cm d'épaisseur, irrégulier, démontrant l'existence d'un dépôt de colloïdes humiques B_1 en surface de l'horizon ferrugineux.

Ce sol fait ainsi transition entre le sol podzolique et le podzol humo-ferrugineux et c'est le plus évolué que nous ayons rencontré sur granite dans les Vosges.

Sa genèse s'explique par des facteurs phytologiques, topographiques et géomorphologiques identiques à ceux du Hirschsteinried : pente faible sur moraine localement très sableuse, très délavée (ruissellement sur glace morte) en topographie concave particulièrement froide et humide du fait de sa situation sur le versant occidental.

Le type de végétation y correspond remarquablement. En effet ici encore nous avons affaire à une sombre futaie de résineux mais à arbres beaucoup moins beaux que dans notre premier exemple. L'Épicéa et le Sapin sont d'importance à peu près égale. La végétation au sol est réduite et ne comprend que 2 à 3 espèces de Phanérogames par 100 m^2 (Myrtille, *Luzula albida* et *L. maxima*, des Fougères, *Blechnum spicant*, *Polystichum euspinulosum*), les Mousses déjà citées, *Plagiothecium undulatum* et *Bazzania trilobata* étant particulièrement abondantes.

L'humus est cependant un peu différent, très noir, poisseux, mieux humifié. Ceci est dû au climat extrêmement humide (nous avons ici, sur le versant occidental, environ 2 000 mm de pluie à 1000 m) qui permet dans cette sombre forêt le développement d'une forme particulière de Mor nommée *Hydromor*, caractéristique des lieux humides. Mais cette humidité est ici atmosphérique et non pas phréatique, notre profil étant situé sur un mamelon et aucun horizon ne montrant de suintements ou de phénomène de « gleyification » (réduction des hydroxydes de fer en bicarbonate ferreux ou autres composés ferreux). Signalons aussi que dans ce Mor nous avons rencontré une abondance de truffes du genre *Elaphomyces*, les « truffes des cerfs », Ascomycètes hypogés à carpophores coriaces persistants.

4° *Haute surface plane dominant des versants raides.*

Des sols podzoliques peuvent se rencontrer sous des Sapinières pures. Nous n'en voyons pas d'exemple dans le Massif du Hohneck, dont nous n'avons qu'insuffisamment exploré la zone montagnarde, mais citons ici un profil prélevé au Sud du Col du Bonhomme.

En voici les caractéristiques analytiques :

Altitude : 960 mètres.
Topographie : pente très faible exposée vers l'Est.
Substrat : arène granitique très grossière, graveleuse et riche en pierres.
Végétation : Sapinière pure en futaie. Myrtille dominante dans la strate herbacée. Abondance des Mousses, notamment *Hylocomium loreum*, *Pleurozium schreberi*, *Plagiothecium undulatum*, *Ptilium crista castrensis*.

Horizons prof.	dés.	pH	granulométrie A.	L.	S.F.	S.G.	M. O.	C%	N%	C/N	S.	T.	V%	fer libre	fe B / fe A_2
0-5	A_0	4,3					40	21,3	0,95	22,4	4,3	51	8,4		
4-20	A_{1-2}	4,3	13,5	9	18	37,5	17,1	9,1	0,36	25	1,3	26,5	5,2	0,8	2,0
25-35	B	3,9	15	13	21	36	8				0,6	12	5,0	1,6	
60-70	C_1	4,8	8	3	31,5	44,5	8,4				1,0	16	6,2	0,6	

(Analyse communiquée par P. Lossaint.)

Les facteurs de l'évolution défavorable du sol sont ici encore : 1° une topographie plane. (De plus le prélèvement concerne une crête assez étroite dominant des versants raides d'où une percolation et un appauvrissement au profit des versants.) 2° Une arène très grossière. 3° Forêt monospécifique de résineux.

Remarquons pour terminer les concordances entre les trois profils analysés : indice d'entraînement de fer oscillant entre 1,8 et 2, taux de saturation en bases de l'humus égal ou inférieur à 10 %, C N supérieur à 20, de l'ordre de 22 à 25. L'indice d'entraînement du fer reste faible comparativement à la morphologie du profil.

Aux concordances physico-chimiques correspondent des analogies écologiques; forêts de Conifères de l'alliance de l'*Abieto-Piceeion*, localisées entre 900 (700 sur le versant lorrain) à 1 100 mètres à la limite entre les étages montagnard et subalpin, sur rebords de cirques, chaos morainiques, dépressions froides et humides, hauts plateaux.

Ces sols constituent donc, sur les substrats dérivés du granite, les termes les plus « évolués » vers le sens de la podzolisation (c'est-à-dire les plus dégradés) que nous puissions rencontrer dans les Vosges.

En Haute Forêt-Noire, où dominent les anatexites, les paragneiss, les granites étant rares, de tels sols existent également, tout en étant, comme dans les Vosges, peu fréquents. Or il est remarquable qu'ils se rencontrent de même exclusivement sur substrat morainique en association avec les peuplements purs d'Épicéas, parfois plus ou moins naturels, cet arbre étant indigène en Forêt-Noire (notamment l'association *Bazzanio-Piceetum*, inexistante dans les Vosges en tant que telle), ou sous les monocultures d'Épicéas sur les hautes surfaces en plateau (**42**).

Sur grès triasique les podzols et les sols podzoliques sont par contre très répandus, par suite de la pauvreté particulière de cette roche-mère constituée presque exclusivement de silice, matériel inerte. Il ne subsiste pas de couverture gréseuse dans le massif du Hohneck, mais à proximité immédiate de la région étudiée, à savoir aux environs du Col du Wettstein, entre 800 et 1000 mètres d'altitude. C'est pourquoi nous en évoquons le cas ici.

Ainsi, sur le plateau du Wettstein, sous reboisement de Pins d'une lande à Callune (Calluno-Genistetum-vaccinietosum) ayant elle-même succédé à la forêt détruite lors de la guerre de 1914-1918, l'on peut observer des Podzols vrais avec un horizon A_2 cendreux blanchâtre très développé, surmontant un horizon d'accumulation humo-ferrugineux très coloré et partiellement induré, les indices d'entraînement du fer dépassant 5. Mais nous avons alors affaire à un groupement végétal différent des précédents, encore peu étudié. Le Pin ne jouant qu'un rôle sociologique très faible (il ne modifie que peu la végétation d'une lande, par ex.), les groupements sont difficiles à apprécier.

La végétation y est caractérisée par la luxuriance du tapis de Bruyères (*Calluna vulgaris*), celles-ci atteignant 50 cm de hauteur, mêlé de Myrtilles, de Fougères et de Mousses. Parmi celles-ci la présence des denses coussinets vert clair, glaucescents et fluorescents de *Leucobryum glaucum* frappe l'observateur. Cette Mousse, très acidiphile et plus ou moins xérophile comme le Pin, est un très bon indicateur d'humus brut podzolisant.

Mais l'extrême dégradation du sol a des origines anthropiques (destruction de la forêt primitive remplacée par une monoculture de *Pinus sylvestris*), car sous futaies de Hêtres et de Sapins, les mêmes grès portent des sols podzoliques beaucoup moins évolués, ou des sols bruns (**23**).

C. LES SOLS BRUNS MÉSO- ET OLIGOTROPHES DES SAPINIÈRES HERBEUSES (ABIETO-FAGETUM A FESTUCA SYLVATICA).

Végétation.

La Sapinière à Myrtille ou à Canche occupe, nous l'avons vu, la plus grande surface forestière de l'étage montagnard du Hohneck. Elle est spécialement répandue sur sols relativement secs et, en particulier, les versants exposés au Sud, aussi bien sur granite que grauwacke.

La Sapinière herbeuse est plus localisée et affectionne particulièrement les pentes fortes, d'orientation Nord, les sols frais ou à humidité phréatique : abords des thalwegs, des ruisselets et des sources, cette eau constituant en même temps qu'un gage d'humidité suffisante permanente, favorable à la vie du sol, un apport d'éléments minéraux. Elle caractérise de même les sols rendus plus argileux par du colluvium ou par la proximité des zones de broyage des grandes failles.

Elle est ainsi nettement plus productrice que le *Luzulo-Fagetum* donnant d'après DUCHAUFOUR (**23**) 8 à 9 m^3 de bois par ha et par an contre 6 à 7 m^3 pour ce dernier groupement et moins encore pour l'*Abieto-Piceeion* (3 à 6 m^3).

Le nom sociologique donné par OBERDORFER (**7b**), *Abieto-Fagetum*, est un peu vague; nous préférerions le nom de *Festuceto-sylvaticae-Fagetum*. Ceci le séparerait aussi nettement, comme groupement silicicole, des Sapinières et Hêtraies-Sapinières équivalentes sur calcaire, caractérisées essentiellement par Elymus europaeus : *Elymo-Fagetum* (Jura), que les adjectifs géographiques habituellement utilisés comme *rhenanum*, *jurassicum*, etc. un peu restrictifs. Les Sapinières vosgiennes ont par ex. des rapports aussi étroits avec celles d'Auvergne qu'avec celles de la Forêt-Noire plus marquées par le Hêtre, d'où le nom « *Fagetum* » aujourd'hui adopté par les ouvrages sociologiques allemands. Par ailleurs Hêtre et Sapin sont à l'étage montagnard inséparables, et cela nous évite des noms à rallonges. Le lecteur voudra simplement se rappeler que dans la littérature sociologique un *Fagetum* peut très bien concerner une Sapinière pure, qui sera d'ailleurs dans le cas présent un produit de l'action des forestiers.

En effet, l'*Abieto-Fagetum* est à l'état naturel une Sapinière beaucoup plus riche en Hêtres que le *Luzulo-Fagetum*. Ceci est dû au fait que le sapin se régénère très mal dans le type d'humus engendré par cette forêt, un Mull acide, alors que ses jeunes plantules viennent très bien dans le Moder. Des études récentes se sont occupées du problème, très gênant pour les forestiers, étant donné la valeur économique bien supérieure du Sapin (ROUSSEAU, **51**). Çà et là d'autres feuillus contribuent à la composition de la strate arborescente, ainsi : *Acer pseudoplatanus*, et *A. platanoides*, *Ulmus scabra*, *Sorbus aucuparia* et près des cours d'eau *Fraxinus excelsior* (dans ce dernier cas, association hygrophile sur laquelle nous ne pouvons nous étendre ici).

La strate arbustive, très peu développée, comprend le Houx, ce sempervirent méditerranéo-atlantique ici proche de la limite orientale de son aire, et le Sureau à grappes *Sambucus racemosa*.

La strate herbacée est essentiellement caractérisée par *Festuca sylvatica* grande Graminée sociale d'un vert franc, un peu sombre, conditionnant la physionomie de la forêt. A la grande Fétuque s'associent de nombreuses espèces herbacées, hémicryptophytes et géophytes. Les principales sont : *Asperula odorata*, *Milium effusum*, *Prenanthes purpurea*, *Anemone nemorosa*, *Polygonatum verticillatum*, *Oxalis acetosella*, *Viola sylvatica*, *Lamium galeobdodon*, *Phyteuma spicatum*, *Senecio nemorensis et S. fuchsii*, *Lactuca muralis*, *Galium*

rotundifolium, *Lysimachia nemorum*, *Epilobium montanum*, *Geranium robertianum*, *Galeopsis tetrahit*, *Solidago virga aurea*. *Melica uniflora*, *Carex sylvatica*, *Sanicula europaea* se cantonnent surtout à la limite inférieure de l'étage. *Mercurialis perennis* et *Dentaria pinnata* (rare) caractérisent une variante au sol particulièrement riche. Des Fougères sont abondantes : *Athyrium filix femina*, *Polystichum filix mas*, *Polyst. spinulosum dilatatum*.

Les Muscinées ne jouent qu'un rôle très subordonné (quelques espèces du genre *Mnium*, notamment *M. undulatum*, ainsi que *Thuidium tamariscinum* et des Hépatiques comme *Plagiochila asplenioides*, *Lophocolea bidentata*, dans les variantes humides).

Il s'agit d'espèces dites neutrophiles, mais mieux classées dans la rubrique des *caractéristiques du Mull*. En effet, ce dernier peut être parfois fort acide (pH 4,5), aussi acide que le Moder. Le Mull se distinguant du Moder par son activité bactérienne, entre autres, il assure beaucoup mieux la nutrition minérale, notamment azotée des plantes : même acide le Mull est nitrifiant (R.C., P. Lossaint, inédit). Or nos neutrophiles sont en réalité des plantes à exigences nutritionnelles élevées, particulièrement en ce qui concerne l'azote, qui, aussi bien sous forme ammoniacale (la seule des Moder) que nitrique, est plus disponible dans les Mull et explique leur localisation. Notons qu'inversement des pH nettement supérieurs à la neutralité leur sont aussi nuisibles que l'excès d'acidité. En effet en milieu alcalin, l'équilibre cathionique est modifié et certains métaux lourds comme le fer sont insolubilisés et rendus inassimilables, provoquant des chloroses. C'est cette dernière raison qui élimine par ex. la Digitale pourpre des sols calcaires, à l'état naturel.

Morphologie des profils.

Nous prendrons pour exemple un sol situé sur le flanc Ouest de l'amphithéâtre de Retournemer.

Caractéristiques stationnelles :

Altitude : 870 mètres — Exposition E. — Pente : 20 à 25°.
Végétation : futaie centenaire de Hêtres et de Sapins. *Festuca sylvatica* dominant.
Substrat : granite recouvert d'un manteau très hétérogène de débris soliflués, avec nombreux gros blocs.

Si l'épaisseur du profil est comparable à celui des sols que nous avons étudiés jusqu'à présent, à savoir 50 à 80 cm, son aspect morphologique est foncièrement différent.

En effet on ne distingue guère d'horizons, et toute l'épaisseur de la coupe, fort riche en grosses pierres, présente une teinte brun foncé très franche, un peu plus foncée et plus grise vers la surface, mais sans individualisation d'un horizon humifère superficiel gris noir aussi net que dans les cas précédents. L'ensemble du profil frappe par son uniformité de couleur et de structure. Les horizons passant graduellement de l'un à l'autre et les propriétés variant, de haut en bas, de façon continue.

En surface, la litière de feuilles mortes forme un placage très réduit, presque entièrement décomposé à la fin de l'été. En dessous nous avons une terre dont l'aspect et la structure rappellent le terreau des jardiniers, les pierres en plus. Terre légère, de couleur brun foncé, d'odeur terreuse (cf. Moder), de structure grumeleuse ; il s'y réalise un mélange intime organo-minéral, impossible à séparer par des procédés purement mécaniques. Même les sables et graviers grossiers sont enrobés par de fines pellicules terreuses qui sont des complexes colloïdaux floculés.

Cette couche superficielle est très riche en vers de terre, surtout au contact immédiat de la litière. Or ces animaux, beaucoup plus rares dans les Moders et pratiquement absents dans les Mors — et ce sont alors des espèces particulières, de petite taille — sont des agents

pédogénétiques essentiels, responsables concurremment avec une riche flore bactérienne de la formation du *Mull*. Les déjections des vers, à base de complexes argilo-humiques floculés par des ions calcium produits à partir des débris organiques ingérés avec la terre, sont parmi les constituants principaux du *Mull*. En dessous, c'est-à-dire à partir de 5 à 10 cm de profondeur, la couleur de la terre s'éclaircit insensiblement, la teneur en matière organique diminuant progressivement avec la profondeur et non brusquement sur quelques cm comme dans le cas des *Moder* ou à fortiori des *Mor*. On ne constate jusqu'au raccordement d'ailleurs très progressif à la roche-mère ni accumulation (p. ex. argile : sols bruns lessivés) ni élution d'aucun élément. L'analyse le confirmera. C'est là l'aspect typique des sols bruns sur granite. Cependant le sous-sol de l'exemple cité est relativement argileux et présente une nuance rouge-violacé, particularité sur laquelle nous reviendrons.

Caractères analytiques.

Nous n'avons pas analysé de tels sols dans le Massif du Hohneck, mais disposons de données provenant de régions proches des Hautes Vosges ainsi que du Champ du Feu. Ainsi nous groupons dans le tableau ci-dessous les analyses de 4 sols.

1° Vers la limite Nord de la région étudiée : près du col du Louschbach dans la région des sources de ce ruisseau à 1 030 mètres d'altitude, pente de 15 à 20° exp. à l'Ouest et sol sur coulée de solifluction granitique très argileuse par suite de la proximité de la zone de broyage de la grande faille sur laquelle s'alignent les cours d'eau Béchine, Louschbach, Haute Meurthe et au niveau de laquelle se trouve le lambeau de grauwacke de Retournemer. Sapinière en futaie, mêlée d'Épicéas plantés, sous-bois à Grande Fétuque, Oxalis et Milium. (Analyse Institut de Botanique de Strasbourg.)

2° Au Sud de la région étudiée : Hundskopf entre Markstein et Grand Ballon à l'alt. de 1 180 mètres sur pente de 25° exposée au Sud. Substrat de grauwacke en débris soliflués et végétation de Hêtraie pure en futaie d'arbres de 15 mètres, à strate herbacée d'aspect prairial de *Festuca sylvatica*, avec *Poa chaixii*, *Luzula albida*, *Prenanthes purpurea*. Par l'altitude nous nous trouverions déjà à l'étage subalpin, mais les conditions topographiques locales (crête orientée ici Est-Ouest, pente raide exposée au Sud), nous permettent de considérer cette forêt comme faisant partie de la zone montagnarde. (Analyse R. C.).

3° Résultats synthétiques de quelques analyses du « Mull » de Sapinières à Festuca sylvatica de la forêt de Bussang (Haute Vallée de la Moselle), par *Duchaufour* et *Millischer*, entre 650 et 900 mètres sur granite et grauwacke (**40**).

4° Massif du Champ du Feu. Profil prélevé au carrefour Rotlach - route de Grendelbruch, à 900 mètres d'altitude, sur pente de 15° exposée au Nord et à substratum de grauwacke. Végétation : vieille futaie de Sapins à *Festuca sylvatica* (Analyses : Institut de Botanique de Strasbourg).

L'examen de ce tableau nous permet de voir que le Mull de nos Hêtraies-Sapinières riches se distingue des Moder et des Mor des sols précédemment étudiés par les caractères suivants :

Le rapport C N est nettement plus bas et oscille autour de 15. Il diminue avec la profondeur (cf. sols ocres-podzoliques et podzoliques). *L'acidité* est assez variable, le pH allant de 4,8 à 5,6 et les taux de saturation en bases de 19 à 42 %. Ceci nous permet de définir des sous-groupes du Mull : des Mull acides oligotrophes à taux de saturation faible et des Mull peu acides mésotrophes à taux de saturation d'environ 30 % ou plus. Ceci est intéressant, car morphologiquement ces Mull ne se distinguent guère et leur activité biologique (vitesse de décomposition de la matière organique, nitrification) est du même ordre, montrant que cette forme d'humus est due plus à la conjonction de facteurs biotiques et microclimatiques induits par la végétation qu'à la richesse minérale primitive du sol.

N°	Horizons cm	dés.	pH (H_2O)	Granulométrie A.	L.	S.F.	S.G.	M. O.	C%	N%	C/N	Complexes échangeurs d'ions Ca	Mg	S	T	V°₀	Fer libre Fe %
1	0-5	A_{11}	4,8					14	7,6	0,52	14,6			3,9	20,6	18,9	2,3
	5-25	A_{12}	6,6	16	7,5	27,5	34	9,8	4,2	0,35	11,8						2,4
	25-75	(B)	6,2	15	17	29,5	30,5	4,8									2,7
	75-100	C_1	5,6	18	13,5	36	28	2,7									2,6
2	0-6	A_{11}	5,1					27	15,2	0,97	15,5	6,7	1,9	9,3	45,5	21,3	1,7
	6-15	A_{12}	4,9	18	25	17,5	14,5	21	10,9	0,81	13,4	3,5	1,3	5,3	40,0	13,2	2,1
	30-40	(B)	4,9	14	34	23,5	15	11	4,2	0,33	12,7	1,8	1,4	4,0	26,1	15,3	2,5
	40-60	(B)	5,0	8	36	29	16	8,5	2,9	0,25	11,6	2,3	0,8	4,3	24,0	17,9	3,0
	70-90	C_1	5,1	7	34	36	15	7,2	2,2	0,20	11	2,8	0,9	4,7	21,9	21,4	1,9
3		A_{11}	5,0					7,3	4,2	0,24	17			3	11,2	27	
4	0-5	A_{11}	5,6					17,5			16,8			11,7	27,5	42,5	
	10-25	A_{12}	4,8	19,5	26	13	20	7,5									1,9
	25-40	(B)	4,5	18	23	15	22,5	4,2									1,95
	60-80	C_1	4,6	18,5	29,5	15	21										1,8

Ces sols s'individualisent en outre par : 1° *Une répartition assez homogène du fer libre*, l'indice d'entraînement étant nul ou faible (et dans ce dernier cas sans relation avec l'aspect morphologique : aucune individualisation d'horizon ocreux. Ex. sol n° 2, sur grauwacke, où l'indice serait de 1,4. Mais nous pensons qu'il s'agit d'une plus grande libération accidentelle, oxyde de fer « in situ » dans les horizons moyens plutôt que d'un lessivage : voir sols des Hêtraies subalpines). 2° *Une teneur en argile* assez élevée dans les profils étudiés. Pour ce qui est des sols sur grauwacke, elle a une origine lithologique. Plus intéressant est le cas des sols sur granite normalement pauvres en argile. En fait la richesse en argile de certains sols bruns sur granite provient de l'histoire géomorphologique, à savoir du brassage périglaciaire du manteau d'altération par la solifluction. C'est le cas du sol de l'Amphithéâtre de Retournemer, enrichi en argile à partir d'un lambeau de grauwacke situé en amont et cité en exemple dans l'introduction; c'est aussi le cas du sol du Louschbach, sis dans une zone d'accidents tectoniques majeurs, ayant produit de l'argile par altération des produits de broyage. Cette argile ne migre guère dans ce type de sol.

En conclusion nous pouvons ranger ces sols dans la catégorie des *sols bruns*, c'est-à-dire à humus doux, biologiquement actifs, du type Mull, ne présentant ni élution, ni accumulation notables, *acides* par les valeurs du pH, *méso- ou oligotrophes* parce que les granites, pauvres en bases, ne disposent que d'une réserve minérale réduite, et que les grauwackes en sont moyennement pourvues.

Les facteurs de la genèse des sols bruns du Massif du Hohneck.

Le mésoclimat (c'est-à-dire le climat de l'étage forestier correspondant) étant le même que celui des sols étudiés précédemment, les facteurs sont :

La pente : les sols bruns se rencontrent souvent sur des pentes moyennes assez fortes (15° à 30°). Le lessivage oblique ralentit l'entraînement en profondeur des éléments fertilisants.

L'exposition : à l'étage montagnard l'exposition Nord empêchant les dessiccations estivales, est favorable. Vers l'étage subalpin le phénomène tend à s'inverser (sol 2).

La Roche-Mère : la grauwacke donne des sols extrêmement pierreux (squelettiques), mais dont la terre fine est riche en argile et limon. Ceci favorise la formation de complexes argilo-humiques. Il en est de même des apports d'argile incorporés au matériel granitique par des phénomènes géomorphologiques. Aussi assistons-nous souvent au remplacement d'un sol aux tendances ocre-podzoliques avec végétation du *Luzulo-Fagion* par un sol brun avec *Abieto-Fagetum* à *Festuca* lorsque nous passons d'un affleurement granitique à un affleurement de grauwacke. Mais seul un levé cartographique permettra de tirer des conclusions valables sur l'influence précise des facteurs lithologiques.

Toutes les localisations de sols bruns ne peuvent cependant être rapportées à des facteurs lithologiques. Il existe de très beaux sols bruns sur granite non argileux et sur grès et des sols très acides à Moder sur grauwacke; le *Luzulo-Fagetum* est fréquent sur grauwacke aussi.

Le facteur essentiel de l'évolution et de la stabilité de ces sols *nous semble être la végétation* induite par, et en relation complexe avec le climat local et l'exposition :

L'*Abieto-Fagetum* réalise un mélange d'espèces très riche (le nombre d'espèces de l'*Abieto-Fagetum* est, avec 20-22 par m^2 en moyenne, beaucoup plus élevé que celui du *Luzulo-Fagetum* et à fortiori de l'*Hylocomieto-Abietetum*). La strate arborescente est riche en feuillus. La matière organique fournie par la végétation herbacée se décompose aisément parce que variée, riche en azote et Ca, pauvre en principes inhibiteurs (tanins, polyphénols, terpènes: Éricacées, Conifères !). Ces débris riches et variés, excellente nourriture pour les bactéries et les vers, stimulent ainsi l'activité biologique et expliquent la formation du Mull. Vie biologique active suppose aussi humidité suffisante, ce qui explique la plus grande fréquence des sols bruns sur les versants exposés au Nord. Par ailleurs si cette forêt est en elle-même garante d'un microclimat de fraîcheur et d'humidité, comme celles des groupements précédents, les feuillus ont l'avantage, favorable à la microflore, de faciliter l'échauffement vernal du sol.

Mais l'équilibre réalisé par les sols bruns dans les conditions du Hohneck est un *équilibre fragile*. Le Mull acide trop faiblement saturé est peu stable et évolue facilement vers le Moder lorsque l'activité biologique s'y trouve inhibée. En même temps la podzolisation s'amorce. Toute atteinte à la végétation peut suffire à entraîner une telle évolution, à moins de stations particulièrement favorables comme celles alimentées en éléments minéraux par une nappe phréatique. C'est la végétation qui est garante de l'activité biologique et de la pérennité du Mull. Les coupes à blanc, par exemple, surtout répétées, peuvent rompre l'équilibre et enclencher une série de processus néfastes, bien étudiés par DUCHAUFOUR (**43**). La nocivité des monocultures d'Épicéas, connue aujourd'hui, a déjà été évoquée.

V. LES SOLS DE LA HÊTRAIE SUBALPINE DITE DES SOMMETS OU ACERO-FAGETUM

A partir d'une altitude de 1000 mètres environ (plus haut ou plus bas selon l'exposition ou la topographie) la forêt mélangée de Sapins et de Hêtres de l'étage montagnard des Vosges subit une démixtion (ISSLER). Le Hêtre prend peu à peu le dessus pour constituer, en compagnie d'autres feuillus, physionomiquement peu importants, la ceinture forestière supérieure. Avec celle-ci nous pénétrons dans l'étage subalpin comme nous allons le prouver.

1° Originalité de la ceinture forestière supérieure vosgienne.

a) *Les causes de la disparition des Sapins.*

L'existence de la Hêtraie des sommets a dérouté maints phytogéographes qui voyaient dans le fait que des feuillus succèdent aux Conifères, en altitude, une inversion paradoxale des étages habituels. En réalité, la disparition du Sapin est due à quelques supériorités écologiques du Hêtre en regard du climat très particulier de l'étage. Le Hêtre partage avec le Sapin un grand nombre de propriétés écologiques. Ce sont tous deux des arbres de climat subocéanique tempéré craignant les froids intenses hivernaux, les chaleurs sèches estivales, les gelées tardives. Ils sont orophiles parce qu'exigeant une humidité de l'air et du sol régulière et élevée, traits qui caractérisent les moyennes altitudes de nos montagnes. Mais il a sur le Sapin, en climat très neigeux, un avantage primordial : dénudé en hiver, il est beaucoup plus résistant aux tempêtes (effets mécaniques des « Eisnadelgebläse » = ouragans d'aiguilles de glace si fréquents; dessiccation) et aux dégâts dus à la charge neigeuse (neiges lourdes) ou givreuse. Le Sapin avec ses branches dressées, étalées est particulièrement vulnérable. De plus, l'origine méditerranéo-montagnarde du genre *Abies* semble avoir légué à cette espèce des exigences thermiques supérieures au Hêtre.

b) *Explication de l'absence des autres Conifères, en particulier de l'Épicéa.*

On devrait normalement s'attendre à cet étage à une concurrence du Hêtre par l'Épicéa (*Picea excelsa*). Celui-ci, aux branches pendantes et souples, est bien adapté aux surcharges neigeuses (cf. les races colomnaires scandinaves) et ses exigences thermiques sont bien inférieures à celles du Hêtre. Cette concurrence n'a pas lieu dans les Vosges pour deux raisons, dont la première avait été seule retenue jusqu'à présent par les botanistes, notamment Issler.

Une raison paléobotanique. — Cet arbre nordique continental, quoique présent dans la plaine d'Alsace à certains interstades de la glaciation wurmienne, a ensuite été totalement refoulé vers l'Est lors du maximum glaciaire. Mais s'il a reconquis la Forêt-Noire dès le début du Post-Glaciaire dans sa nouvelle avancée lors de la débacle des glaces, il n'a plus atteint les Vosges où il n'existe que depuis l'époque historique récente. Les diverses ceintures forestières actuelles étant alors constituées et stables, la compétitivité du nouveau venu s'en trouvait affaiblie.

Une raison écologique, de loin la plus importante. — Le Hêtre forme la limite supérieure de la forêt (au moins potentielle) dans plusieurs massifs montagneux de climat atlantique d'Europe Occidentale. Il en est ainsi, en partie, de la Forêt-Noire, du Jura, des Préalpes occidentales françaises (Chartreuse, Vercors) et, en totalité, du Massif Central où elle n'est que rarement atteinte du fait de l'homme, de la partie la plus occidentale des Pyrénées, de la chaîne Cantabrique, ainsi que de certaines régions montagneuses de l'extrémité Nord-Ouest du Bassin Méditerranéen comme les Alpes d'Insubrie, les Appennins, la Corse. Les Vosges ne constituent donc nullement une exception, leur originalité n'est due qu'à l'homogénéité et à la grande étendue de la Hêtraie rabougrie des sommets et ne ressort que de la comparaison aux données alpines.

L'explication réside dans le fait que cet arbre est particulièrement adapté au climat de montagne eu-atlantique. Les traits essentiels de ce climat sont le grand rôle de la nébulosité, la fréquence et la violence des tempêtes d'Ouest. Les brouillards givrants persistant pendant des jours, voire des semaines, les neiges molles et collantes associées aux ouragans

aboutissent à la formation d'énormes surcharges au niveau des organes aériens auxquelles les Conifères sempervirents résistent mal. A la fin de certains hivers notre Hêtraie culminale ressemble à un champ de bataille, le sol étant jonché de branches arrachées par le vent allié au givre et à la neige.

Notre argumentation se trouve renforcée si nous recourons à la comparaison aux données fournies par l'Europe du Nord. Dans les massifs montagneux d'Angleterre, d'Écosse, de Norvège, le Hêtre est inexistant en altitude par suite d'insuffisance des températures estivales. Mais alors que le Pin sylvestre et l'Épicéa forment la limite supérieure de la forêt dans les parties continentales de la Scandinavie sous forme d'un écotype nordique columnaire adapté aux masses de neige (légères !) de l'hiver continental froid, et au photopériodisme génétiquement fixé, adapté aux hautes latitudes (**34**), on voit *disparaître totalement* (*Épicéa*), *ou partiellement* (*Pin sylvestre*) ces *arbres dans les zones côtières atlantiques* (Norvège au Sud de Trontheim ; Écosse, concerne ici le pin, l'Épicéa n'y étant pas indigène). C'est le Bouleau pubescent, succédant à des feuillus (Chêne, Tremble) et au Pin sylvestre, qui y forme la limite supérieure de la forêt, *limite qui subit d'ailleurs une dépression considérable par rapport aux régions intérieures* et continentales de ces pays (**56**). Nous tenons là un argument de poids en faveur de la thèse de la faible valeur compétitive de l'Épicéa dans les Hautes Vosges si nous considérons les remarquables analogies climatiques que présentent ces régions avec la nôtre. Notons aussi la grande similitude physionomique entre la Hêtraie des sommets et la ceinture subalpine de Bouleaux pubescents norvégienne (qui forme la limite de la forêt, non seulement eu-atlantique, mais aussi dans les régions limitrophes subcontinentales de la Norvège). En effet l'aspect des arbres rabougris, tortueux (c'est la sous-espèce *tortuosa de Betula pubescens*) ramifiés dès le collet, couverts de Lichens, rappelle beaucoup celui de nos Hêtres et le sous-bois est fréquemment, comme dans les Vosges, constitué soit de hautes herbes hygrophiles (*Geranium sylvaticum*, *Aconitum septentrionale*, *Cicerbita alpina*, Fougères), soit de myrtilles. Une dépression tout aussi frappante des limites altitudinales des étages se remarque dans les Pyrénées Occidentales françaises où nous avons vu, dans la Vallée d'Aspe, des pelouses typiquement alpines à *Leontopodium alpinum*, *Gentiana clusii*, *Horminum pyrenaicum*, *Dryas octopetala* succéder à la Hêtraie dès 1 300 mètres.

c) *Caractère subalpin de la Hêtraie des sommets : définition de l'étage subalpin.*

La tranche d'altitude comprise entre 1 100 m et les sommets est caractérisée par l'*exagération des propriétés océaniques du climat :* les précipitations dépassent toujours 1 600 mm et s'échelonnent généralement entre 1 800 et 2 000 mm. La fréquence des brouillards augmentant considérablement dès 1 000 m, les précipitations occultes par condensation sur la végétation et givre sont abondantes et augmentent ce chiffre. La régularité des précipitations s'affirme par l'augmentation des quantités hivernales aux dépens des précipitations orageuses estivales. La diminution des températures est sensible, particulièrement pour l'été. La moyenne annuelle va de 3,5° à 5°, les moyennes mensuelles extrêmes étant de — 2,5° à — 4° et de 11° à 13°, ce qui nous donne un écart thermique annuel d'environ 15°. Tout ce que nous venons d'énumérer nous permet de considérer la ligne des 1 000 m comme une limite climatique importante dans les Hautes Vosges. Les changements de végétation bien analysés par Issler, sont frappants. Dans la forêt nous constatons outre la disparition du Sapin et du Houx, l'apparition de subalpines comme *Lonicera nigra*, *Rosa alpina*, *Ribes petraeum*, *Rumex arifolius*, *Cicerbita alpina* et surtout de l'association de la Hêtraie des sommets caractérisant bien mieux l'étage que des plantes isolées. Dans les landes-pâturages nous notons la disparition de 2 Genêts : *Genista sagittalis* et *Sarothamnus scoparius*, entre autres, et l'apparition de *Viola lutea*, *Leontodon pyrenaicus*, *Polygala serpyllifolia* et bientôt des autres subalpines caractéristiques des Hautes Chaumes.

Aussi les changements de végétation sont-ils si manifestes, et liés à un climat si rude, que nous classons dans l'étage subalpin la Hêtraie des sommets, malgré les objections d'excellents botanistes comme Issler (**4**) ou Favarger (**28**). Ce dernier, dans une discussion

par ailleurs très instructive, ne veut pas se résoudre à classer comme subalpines des forêts autres que de Conifères, suivant en cela un précurseur illustre : Ch. FLAHAULT (**30**). Ce point de vue aboutit dans notre cas à un résultat illogique, à savoir la suppression pure et simple de l'étage subalpin dans les massifs océaniques ou du moins à sa réduction très sensible si nous classons encore, avec FAVARGER, les landes à Éricacées dans l'étage subalpin, même lorsqu'elles se trouveront au-delà de la limite des arbres.

Nous diviserons ainsi l'étage subalpin en deux parties :

L'étage subalpin inférieur, comprenant la hêtraie des sommets et les landes-pâturages issus de la destruction de cette dernière.

L'étage subalpin supérieur : comprenant les landes-pelouses primaires, c'est-à-dire la partie des Hautes Chaumes n'ayant jamais été boisée, comme nous le démontrerons, partie de superficie d'ailleurs réduite. C'est cette seule région qui se trouve au delà de la limite climatique naturelle de la forêt que Issler classe comme subalpine (1942, page 172).

Concluons en citant encore FAVARGER : « Lorsqu'on parcourt la montagne on a l'impression, à certains moments, que quelque chose d'important change. Ce qui change, c'est le climat. » On ne saurait mieux exprimer ce qu'un naturaliste ressent lorsqu'il franchit la limite entre les étages montagnard et subalpin des Vosges, limite due à un effet de seuil provoquant une succession altitudinale d'associations végétales. Le même auteur ajoute : « Il vaut mieux affranchir la notion d'étage de son complexe altitudinal pour ne retenir que sa valeur climatique, comme le préconise avec raison L. EMBERGER. » Nous n'en sommes que plus à l'aise pour faire débuter le subalpin des Vosges à 1 100 m !

2° Phytosociologie de la Hêtraie des sommets.

Les Hêtraies subalpines d'Europe occidentale se caractérisent par la haute présence de l'Érable sycomore (Acer pseudoplatanus) et des Sorbiers et par l'abondance de hautes herbes habituellement rencontrées dans les Adénostylaies ou les broussailles subalpines supérieures d'Aulnes verts.

La physionomie de la Hêtraie est très particulière. A 1 100 mètres, l'aspect est encore celui d'une futaie, mais les arbres n'ont plus le port majestueux de la plaine ou de l'étage montagnard. Ils ne dépassent pas 15 à 20 mètres de hauteur, la couronne est en forme de balai. Au fur et à mesure que l'on monte en altitude, la taille décroît. Ainsi vers 1 200 mètres les arbres n'ont généralement qu'environ 8 mètres, les troncs sont fasciculés et les branches couvertes de Lichens. Enfin, vers la limite supérieure, nos Hêtres ne sont plus que des buissons tortueux à rameaux étalés à ras du sol, donnant une broussaille impénétrable chargée de Lichens, haute de 2 à 4 mètres.

Aussi les groupe-t-on dans une sous-alliance subalpine du *Fagion* à savoir l'*Acerion*. Cette sous-alliance n'est représentée dans les Vosges que par *une seule association, englobant toute la Hêtraie culminale : l'Acero-Fagetum.*

Les principales espèces caractéristiques et différentielles en sont : *Acer pseudoplatanus*, *Lonicera nigra*, presque constante alors que deux autres buissons caractéristiques sont bien plus rares : *Ribes petraeum*, *Rosa alpina ; Rumex arifolius*, une des meilleures caractéristiques, de haute présence et ne descendant à altitude plus basse que le long des cours d'eau (« Schluchtwälder »), *Dryopteris linnaeana*, *Polygonatum verticillatum ;* des hautes herbes hygrophiles transgressives des mégaphorbiées : *Adenostyles alliariae*, *Cicerbita alpina*, *C. plumieri*, *Ranunculus platanifolius*, *Senecio nemorensis*, *Athyrium alpestre*, cette dernière rare comme les suivants : *Geranium sylvaticum*, *Aconitum lycoctonum. Polygonum bistorta*

est très fréquent, et, n'existant en forêt que dans ce groupement subalpin et en grande abondance, en constitue une excellente espèce différentielle.

Aux espèces précédentes se joignent les caractéristiques orophiles de l'alliance du *Fagion : Prenanthes purpurea, Luzula albida, Polystichum spinulosum ;* celles de l'ordre (*Fagetalia*) : *Milium effusum* qui remplace *Festuca sylvatica* pratiquement absent de l'*Acero-Fagetum*, ce qui est important ; *Asperula odorata, Stellaria nemorum, Lysimachia nemorum, Lamium galeobdodon, Anemone nemorosa, Paris quadrifolia, Epilobium montanum, Dryopteris filix mas, Daphne mezereum.* Parmi les compagnes de haute présence il faut signaler *Oxalis acetosella, Rubus idaeus, Vaccinium myrtillus, Athyrium filix femina, Melandryum rubrum, Solidago virga aurea, Poa chaixii, Ajuga reptans.*

Enfin, chose importante, les *Mousses sont toujours totalement absentes à de rares exceptions près.*

L'Acero-Fagetum vosgien peut se subdiviser en trois sous-associations, dont deux nettement différenciées par l'aspect physionomique, déjà entrevues par ISSLER, mais dont la caractérisation phytosociologique restait à faire. Ce sont :

a) *L'Acero-Fagetum myrtilletosum*, sous-association caractérisée par « l'abondance-dominance » de la Myrtille, l'importance de la Luzule blanchâtre (*Luzula albida*), la présence de *Deschampsia flexuosa.* C'est cette sous-association qui se raccorde progressivement à la lande subalpine sommitale dans la « Kampfzone ». Elle couvre de grandes surfaces et affectionne les pentes faibles. ZOLLER (**55**) rattache ce type au *Luzulo-Fagetum.* ISSLER de même est hésitant. Nous ne partageons pas ce point de vue, car malgré la pauvreté en caractéristiques et différentielles de l'*Acerion*, celles-ci sont de haute présence, surtout *Rumex arifolius* et *Polygonum bistorta* et les caractéristiques de l'ordre des *Fagetalia* sont nombreuses, alors qu'elles sont rares ou absentes dans le *Luzulo-Fagetum.* En effet, ces dernières sont surtout des espèces du Mull et ce n'est que dans l'*Acero-Fagetum* que l'on trouve de telles espèces intimement associées à la Myrtille et à la Canche. L'écologie du groupement ne diffère de celui à hautes herbes, que tout le monde s'accorde à qualifier de subalpin, que par un sol plus sec et plus pauvre.

b) *L'Acero-Fagetum cicerbitetosum.* C'est la sous-association à hautes herbes caractérisée par l'abondance-dominance des espèces transgressives des mégaphorbiées subalpines (*Betulo-Adenostyletaea*) que l'on ne trouve autrement dans les Vosges que sur le flanc Nord des Cirques et le long des ruisselets froids de la zone supérieure. De grande taille, luxuriantes, richement fleuries, ces espèces donnent au sous-bois un aspect très particulier. Nous les avons nommées dans la liste synthétique précédente. Ajoutons-y quelques raretés comme *Campanula latifolia, Epilobium alpestre* (Klintzkopf) ; *Aconitum napellus* (ruisseau de Lallemand), *Streptopus amplexifolius* (flanc Ouest du Kastelberg). La Myrtille est absente ou peu importante. Cette sous-association est localisée d'une part sur les fortes pentes à exposition Nord ou Est, d'autre part et surtout dans les zones humides à eau phréatique courante aux environs des têtes de ruisseaux. (Couvre ainsi de grandes surfaces entre la Roche des Fées et la ruine du Reichsberg, sur le flanc Ouest du Reisberg.)

c) *L'Acero-Fagetum milietosum :* groupement intermédiaire, il est généralement caractérisé par l'abondance de *Milium effusum.* Cette Graminée a un comportement écologique curieux ; fréquente dans les Hêtraies de plaine, elle existe, mais en faible abondance, dans la Sapinière à *Festuca sylvatica ;* elle retrouve sa vigueur dans l'étage subalpin et se comporte exactement de même en Norvège où elle n'est présente que dans le fond de certaines vallées et dans la forêt subalpine de Bouleaux (**44**). La Myrtille est d'importance moyenne, le cor-

tège floristique étant constitué essentiellement de géophytes et d'hémicryptophytes caractéristiques du Mull comme : *Lamium galeobdolon*, *Stellaria nemorum*, *Lysimachia nemorum*, *Rumex arifolius*, *Oxalis acetosella*, *Asperula odorata*, *Melandryum rubrum*, *Paris quadrifolia*, etc.

Cette sous-association est surtout importante vers la limite inférieure de l'étage (c'est la seule qui soit présente au Champ du Feu), alors que les deux autres sont surtout abondantes aux altitudes les plus élevées. Mais souvent la distinction des trois sous-associations est rendue difficile parce qu'elles forment des mosaïques étroitement imbriquées sur lesquelles nous reviendrons.

3° Les sols correspondants.

La Hêtraie subalpine est caractérisée sur granite, par des sols bruns (sous-association à hautes herbes) et surtout par un sol plus évolué, mais encore nettement rattachables aux sols bruns : le sol brun ocreux (les deux autres sous-associations).

Les sols ocre-podzoliques et *a fortiori* podzoliques font totalement défaut dans cette ceinture.

a) *Description d'un sol brun ocreux d'Acero-Fagetum-milietosum.*

Notre exemple sera pris sur le flanc Ouest du Hohneck, un peu au-dessus de la route des crêtes, près du chemin allant au col du Falimont. (Alt. 1 240 m ; exp. : W. Pente : 15°.)

En toute saison il subsiste en surface une litière de feuilles de Hêtre dont la partie inférieure est parcourue de mycélium blanc et jaune. Par ce caractère déjà, les sols de la Hêtraie subalpine se distinguent de ceux des Hêtraies montagnardes. En effet, la réduction de la saison végétative empêche la décomposition totale de la litière en une seule année ce qui est la cause probable de l'absence de Mousses.

L'horizon humifère épais de 4 à 8 cm est un Mull brun foncé presque noir, riche en vers de terre de petite taille et de couleur pâle, très riche en racines et rhizomes, de faible structure motteuse. Il se rapproche du Moder par sa couleur et son acidité, mais est un Mull typique par sa structure (granuleuse dans le cas des Moders), son odeur terreuse, sa biologie (vers de terre, géophytes), l'intimité du mélange organo-minéral.

L'horizon de transition, d'environ 15 cm d'épaisseur, brun gris, est encore riche en matière organique et en racines. Mais sa structure est très faible et il présente déjà quelques grains minéraux apparents blancs non enrobés de pellicule terreuse. Les complexes argilo-humiques sont donc peu stables et nous avons ici la toute première ébauche du phénomène de podzolisation, esquissant un horizon éluvial.

En corollaire nous trouvons en dessous sur une vingtaine de cm d'épaisseur, un horizon B de couleur brune à nuance ocracée apparaissant par contraste avec le gris de l'horizon sus-jacent et le beige de l'arène sous-jacente, et traduisant une faible accumulation d'hydroxyde de fer libre. C'est une terre sans structure, sableuse, riche en pierres, parcourue de racines de Hêtres.

A partir de 40 à 50 cm de profondeur, c'est la roche-mère, c'est-à-dire l'arène solifluée mêlée de blocs de couleur fauve.

b) *Caractères physico-chimiques des profils.*

Dans le tableau ci-après sont groupées les analyses de 3 profils :

1° Celui décrit ci-dessus : *Acero-Fagetum milietosum.*

2° Versant Ouest du Kastelberg, près de la ferme Breitzousen : *Acero-Fagetum myrtilletosum.* Granite des Crêtes, 1 260 m. W, 15°.

3° Versant Est du Grand Ballon. *Acero-Fagetum milietosum,* riche en Sorbiers. Grauwacke 1 340 m. Est, 30°. Sol excessivement pierreux : à partir de 80 cm c'est le chaos de gélivation pratiquement dépourvu de terre fine.

N°	Horizons cm	des.	pH (H_2O)	Granulométrie A	L	SF.	SG.	MO	C%	N%	C/N	Complexe absorbant meq % Ca	Mg	S	T	V%	Fer libre	Fer B / Fer A
1	0-4	A_1	4,4					16,4	10,7	0,62	17,2	1,9	1,1	4,3	24,4	17,6		
	5-15	A_{11}	4,4	10	11	18	49	10,4	4,7	0,31	15,1	0,6	0,9	1,9	17,9	10,6	2,9	1,33
	20-40	B	4,5	8	11	15	56,5	8,4	3,2	0,23	13,9	0,5	0,8	1,5	13,4	11,2	3,85	
2	0-4	A_0	5,0					33,6	22,0	1,08	20,3	2,5	2,3	5,7	34,4	16,5	1,3	
	10-20	A_1	4,8	9	12	9	52	16,8	9,2	0,62	14,8	0,8	0,7	1,7	19,0	9,0	2,7	1,28
	30-40	B	5,0	7	14	16	53,5	12,0	4,6	0,29	15,8	0,5	0,4	1,0	13,2	7,6	3,45	
3	0-4	A_1	5,3					31,8	18,1	1,07	16,9	9,1	1,9	12	48	25	1,7	
	5-15	A_{11}	5,1	20	21	23	7	24,5	12,0	0,89	13,5	4,1	1,2	5,7	38	15	2,1	1
	20-30	(B)	4,9	20	25	24,5	8,5	20,4	9,9	0,76	13,0	1,6	1,0	3,5	33	10,6	2,2	ou
	60-80	(B)	5,0	14	18	36	14	15,8	6,3			0,8	1,2	2,6	27,3	9,5	1,4	< 1
	90-110	(B)C	5,1	7	18	51,5	17	8,5	2,7	0,17	15,8	0,6	0,6	1,5	13,9	10,8	1,0	

La morphologie et la physicochimie des profils nous permettent de classer les sols en deux groupes :

Sols bruns ocreux que nous trouvons sur granite et qui correspondent aux sous-associations *myrtilletosum* et *milietosum.*

Sols bruns acides rencontrés sur granite (sous-associations *cicerbitetosum*), et sur grauwacke.

c) *Propriétés des sols bruns ocreux sur granite* (profils 1 et 2).

Ils ne sont épais que de 40 à 50 cm (cf Hêtraies montagnardes) et très pierreux du fait de la situation topographique de la Hêtraie des sommets, proche de la rupture de pente entre les ballons sommitaux et les auges glaciaires. Ce substratum hétérogène et filtrant conjugué à l'augmentation de la pluviosité et aux autres péjorations climatiques induites par l'altitude, explique que malgré une végétation de feuillus et des pentes atteignant 30° on assiste sur granite à un début de migration des oxydes de fer. Mais l'indice d'entraînement du fer est très faible, inférieur à 1,5. Originellement un tel sol était classé parmi les sols bruns podzoliques aujourd'hui dénommés ocre-podzoliques. Mais AUBERT et DUCHAUFOUR, considérant le très faible développement des caractères podzoliques de certains sols et la médiocrité de l'accumulation ferrugineuse, ont créé un nouveau type de sol, le sol *brun ocreux*, très proche des sols bruns, notamment par leur humus qui est un Mull. Cette distinction est heureuse, car elle nous permet dans notre cas de distinguer les profils des variantes acidiphiles de l'*Acero-Fagetum* de ceux, ocre-podzoliques, donc nettement plus évolués, du *Luzulo-Fagetum* montagnard. La pédologie vient ainsi confirmer ce que nous disions page 136, à l'alinéa a). Noter aussi la diminution du C N avec la profondeur, caractère de sol brun.

Nous considérons le sol brun ocreux comme climatique de la Hêtraie des sommets. (On peut même s'étonner que, vu les conditions climatiques, la podzolisation n'aille pas

plus loin. Ceci est à porter à l'actif de la végétation, notamment du Hêtre, entre autres, car l'explication en est complexe.)

d) *Les sols bruns sur grauwacke.*

Sur grauwacke l'horizon rubéfié n'est pas visible et les sols des associations correspondantes ne s'identifient à ceux du granite que par les propriétés de l'humus. Il s'agit de *sols analogues* au sens de PALLMANN (voir p. 104). Les profils sont plus épais que ceux sur granite, mais de texture très différente et extrêmement pierreuse. Les racines sont obligées d'explorer une couche de sol beaucoup plus épaisse pour disposer d'un volume de terre suffisant. L'importance du facteur lithologique est grande, ce qui est classique des sols de montagne.

e) Le tableau d'analyse nous permet de dégager quelques autres conclusions intéressantes : *Discussion.*

— *Homogénéité des sols.* A l'exception de la sous-association à *Cicerbita alpina*, les sols de la Hêtraie des sommets sont un peu plus acides en moyenne que ceux de la Hêtraie-Sapinière à *Festuca sylvatica*, et plus évolués dans le sens pédologique de ce terme. Par contre, pour la sous-association à Myrtilles qui correspond écologiquement au *Luzulo-Fagetum*, c'est l'inverse qui est vrai, ses sols sont moins pauvres et moins évolués. Ainsi est mise en évidence l'homogénéité des sols de l'étage subalpin inférieur des Vosges. A l'unité phytosociologique (une seule association) correspond l'unité pédologique. Cette uniformité est due à l'influence du facteur écologique dominant, ici le climat dont les rigueurs particulières à cet étage font, par l'effet sélectif vis-à-vis de la végétation (élimination des conifères) que la Hêtraie subalpine forme un complexe très homogène. On peut y opposer les données établies pour l'étage montagnard où l'exposition joue notamment un rôle important, ce qui, joint aux autres diversités morphologiques, fait que dans cet étage nous trouvons plusieurs associations et types de sols.

— *L'accumulation organique.* L'effet de l'altitude se fait nettement sentir par l'augmentation de la teneur en humus de l'horizon supérieur et de l'ensemble du profil.

Ainsi, pour la Hêtraie culminale à Myrtilles, le Moder-Mull (voir plus loin) est épais de 4 à 8 cm pour une teneur en matière organique de 30 à 35 % alors que dans les trois sols du *Luzulo-Fagetum* étudiés nous trouvions une moyenne de 20 % pour 3 à 5 cm d'épaisseur.

De même pour la Hêtraie typique, à *Milium* nous pouvons opposer les chiffres obtenus à savoir 16,5 et 32 % (dans ce dernier cas, limite supérieure absolue : 1 340 m !) à ceux de la Hêtraie-Sapinière à *Festuca sylvatica* (écologiquement correspondante) avec respectivement 14, 17,5 et 7,5 %.

D'une manière générale, d'après les quelques chiffres que nous possédons, les teneurs en humus semblent être 1,5 à 2 fois plus fortes que dans les stations homologues de la ceinture inférieure.

— *Comparaison entre sous-associations.* Nous n'avons malheureusement pas d'analyses des groupements à hautes herbes. Nous ne pouvons donc comparer que les profils granitiques 1 et 2 concernant les sous-associations à Myrtille et à *Milium*. On objectera qu'il est hasardeux de comparer deux uniques profils. Mais l'obtention de valeurs statistiques exige un travail d'équipe, et l'expérience nous apprend d'autre part que si les profils sont judicieusement choisis en fonction des données écologiques et sociologiques leur analyse donne des indications très sûres.

Ainsi la teneur en matière organique est beaucoup plus élevée dans l'ensemble du profil « *myrtilletosum* » et atteint dans l'horizon supérieur une valeur double de celle du profil « *milietosum* ». D'un groupement à l'autre l'accumulation humique est donc très différente d'où les difficultés d'extrapolation du facteur climatique. L'augmentation de la teneur en humus ne fait que traduire un ralentissement de l'activité biologique qui est corroboré par l'augmentation du rapport C/N qui de 17 monte à 20.

Parallèlement l'augmentation du nombre de fonctions acidoïdes créées par l'accumulation humique fait augmenter la capacité d'échange. Mais cette augmentation n'est pas proportionnelle à celle de la matière organique, car plus celle-ci est biologiquement inerte, moins elle est humifiée et moins nombreuses sont les fonctions électronégatives créées. Ainsi les capacités d'échange du Mull des sols 1 et 3 sont-elles respectivement de 148 et de 150 milliéquivalents g pour 100 g de matière organique, alors qu'elle n'est que de 102 m. éq. g % pour la sous-association à Myrtilles.

Ainsi les caractères de l'horizon supérieur de l'*Acero-Fagetum-myrtilletosum* nous permettent de classer celui-ci dans un type intermédiaire entre le Mull et le Moder à savoir ic « *mull-like Moder* » (**6**) (« Feinmoder ») remplaçant le Mull acide des deux autres sous-associations.

L'évolution du profil n'est pas affectée par ces transformations trop faibles, l'indice d'entraînement du fer et les taux de saturation ne varient que peu, le pH ne donne pas des indications suffisamment fidèles.

— *L'interaction sol-végétation dans ce cas particulier : aspect en mosaïque des sous-associations.* Nous venons de voir qu'une très faible variation du tapis végétal, en l'occurrence le passage d'une sous-association à une autre, se traduit fidèlement dans les caractéristiques chimiques du profil pédologique.

Dans le cas présent les différences peuvent s'expliquer par le rôle néfaste joué par la Myrtille vis-à-vis de la microbiologie du sol. Cette action est due à la composition chimique des litières de cette plante, qui, comme celle de l'ensemble des Éricacées, est riche en substances antimicrobiennes : arbutoside, glucoside libérant de l'hydroquinone, diphénol à propriétés antiseptiques marquées, tanins. Par ailleurs la litière est pauvre en calcium et en azote, la vie bactérienne est ainsi inhibée. En 1926 déjà, J. Braun-Blanquet insistait sur la production d'humus brut par les Vaccinies (**13**). Cette propriété qui est générale aux Éricacées est à rapprocher de celle analogue de certains Conifères intervenant également, entre autres, par des inhibiteurs microbiologiques, surtout des terpènes. Ces constatations empiriques anciennes sont confirmées par de récentes expériences sur l'activité inhibitrice des humus bruts, en divers domaines de la biologie (flore bactérienne, germination des graines).

L'influence acidifiante de la Myrtille est, dans le cas qui nous occupe, contrebalancée en partie par celle de la litière de Hêtre, dont les caractéristiques sont bien plus favorables à la vie du sol (quoique le Hêtre soit aujourd'hui reconnu comme un des moins améliorants de tous les feuillus).

Les espèces des groupes écologiques acidiphiles exigent, pour s'installer, des sols à forte concentration en hydrogène échangeable (faible taux de saturation V^{o}_{o}). L'ion $H+$ s'oppose d'une part à la fixation par ces plantes de certains cations qui leur sont toxiques à des doses normalement tolérées ou exigées par les espèces des groupes écologiques « neutrophiles », en particulier les alcalino-terreux. D'autre part, l'acidité permet, au contraire, l'assimilation en quantités notables, de certains métaux lourds comme le fer et le manganèse, fortement insolubilisés à l'état d'oxydes dans les sols neutres ou alcalins et au contraire dis-

ponibles sous forme d'ions ou de complexes de faible poids moléculaire dans les sols acides. (Nous extrayons de ces sols par réaction d'échange des quantités remarquables de fer ionique.) Il apparaît que la plupart des acidiphiles sont particulièrement exigeants pour leur alimentation en ces oligoéléments et font des chloroses en sols calcaires.

Or, une fois installées, ces espèces tendent à entretenir et à développer elles-mêmes, par l'intermédiaire de l'action de leur litière sur le sol, des conditions favorables à leur maintien.

Nous avons vu qu'il en était de même, inversement, des plantes du groupe écologique du Mull, de l'*Abieto-Fagetum* (*Festuceto-sylvaticae-Fagetum*).

Ainsi une tache de Myrtille une fois établie tendra à provoquer une rupture d'équilibre locale. L'ensemble du peuplement végétal peut se modifier alors rapidement par effet de seuil.

Ainsi peut s'expliquer la juxtaposition en *mosaïque* de certains groupements. C'est le cas de la partie supérieure de la Hêtraie des sommets qui présente des sous-associations étroitement imbriquées en une mosaïque complexe, chacune d'elles occupant des plages juxtaposées.

Nous avons là un bel exemple de ce qu'on pourrait rapprocher des phénomènes *d'autocatalyse* assez habituels en chimie, mais fréquents aussi dans le domaine des sciences naturelles.

Les processus d'autocatalyse se développent à partir du moment où certains facteurs sont proches de valeurs critiques.

Ces mosaïques de sous-associations ou d'associations végétales, sous l'influence de variations-seuil de certains facteurs du milieu sont d'observation courante (cf les mosaïques d'origine topographique dans les marais). Il semble qu'un tel contact soit fréquent pour des unités phytosociologiques comprenant des espèces sociales de grand pouvoir édificateur et colonisateur, alors que la transition progressive entre groupements, d'observation très courante, elle aussi, est plutôt le fait d'associations dépourvues d'espèces sociales remarquables.

VI. L'ÉTAGE SUBALPIN SUPÉRIEUR : LES LANDES DES HAUTES CHAUMES

Du Reisberg au Grand Ballon, soit sur une distance de plus de 35 km, la crête vosgienne est occupée par une lande bien connue sous le nom de Hautes Chaumes, quelques enclaves de broussailles de Hêtres et la région du col de la Schlucht exceptés.

1° Discussion : Les Hautes Chaumes sont-elles artificielles ou peuvent-elles être considérées, au moins en partie, comme primaires ?

Les phytogéographes sont d'accord pour laisser dans l'étage subalpin des landes à Éricacées succédant à *la limite naturelle de la forêt* fermée, et de les distinguer ainsi des pelouses alpines, qui, elles, se trouvent au-dessus de la *limite des arbres*.

Mais cette question de la limite naturelle de la forêt a déjà suscité de nombreuses discussions pour les Vosges ainsi d'ailleurs que pour d'autres massifs (Auvergne !) et reste controversée. Au début de ce siècle, P. Boyé (11) qui a fait une étude historique poussée de l'élevage sur la crête, dont les origines remontent au 9° siècle au moins, et Ch. Flahault, le grand précurseur de la phytogéographie, considéraient les Hautes Chaumes comme entièrement artificielles. C'est d'ailleurs Flahault qui a créé pour ce type de végétation qui

couvre aussi d'immenses surfaces dans le Massif Central, le terme de *pelouse pseudoalpine* (**30**). Localement les Hautes Chaumes prennent en effet l'aspect d'une prairie graminéenne et s'apparentent ainsi par la physionomie aux pelouses alpines dominées par Graminées et Cypéracées. En Forêt-Noire où les conditions phytogéographiques et écologiques sont différentes, certains phytosociologues arrivent à la même conclusion (BARTSCH).

L'opinion de ISSLER est plus nuancée. Ce parfait connaisseur de la flore vosgienne et pionnier de la phytosociologie dans notre province considère que la limite naturelle de la forêt est atteinte vers 1 300 m et qu'une partie des Hautes Chaumes est ainsi primaire. Mais l'auteur ajoute que la limite des arbres — si tant est que l'on puisse appliquer ce qualificatif à des buissons de 2 m de haut ! — se place vers 1 400 m et attribue ainsi aux Hautes Chaumes primitives l'aspect de broussaille largement clairiérée. ISSLER souligne aussi que les sommets comme le Klintzkopf (1 328 m) et le Storkenkopf (1 361 m) portent des Hêtres jusqu'au faîte (**4**, p. 172).

Notre opinion se rapproche de celle de ISSLER, mais nous considérons que les parties les plus élevées et les plus exposées de la crête devaient toujours être exemptes même d'arbres, la limite de ceux-ci descendant localement jusqu'à 1 300 m (exceptionnellement moins : Gazon de Faîte).

Nous avons à l'appui de cette thèse plusieurs arguments :

a) un argument d'ordre pédologique qui sera discuté ci-dessous ;

b) un argument d'ordre physionomique : la limite supérieure de la Hêtraie a, en quelques rares points, en particulier sur le flanc occidental du Kastelberg vers 1 270 m d'altitude, tous les aspects d'une limite naturelle, non seulement de la forêt, mais même des arbres.

c) un argument écologique. La phytogéographie et l'écologie du Hêtre étant de mieux en mieux connues, nous nous permettons d'affirmer que nous nous trouvons à 1 300 m dans les Vosges *très près de la limite thermique du Hêtre*, du fait de la fraîcheur estivale. Considérons en effet qu'au Grand Ballon (1 400 m) avec une moyenne de juillet de 11° nous nous rapprochons du fameux isotherme de 10° du mois le plus chaud qui marque la limite des arbres (alors Conifères et Bouleau) en Europe du Nord et sépare ainsi la zone subarctique de la zone arctique. Sachant que les exigences thermiques du Hêtre sont plus élevées que celles des arbres nordiques, nous pouvons considérer comme parfaitement naturelle la limite actuelle des arbres au Grand Ballon qui se place vers 1 380 m sur le versant Est abrité. Écologiquement marginaux, les peuplements de Hêtres dépassant 1 300 m sont ainsi extrêmement labiles.

Remarque : Il importe cependant de se méfier des comparaisons latitude-altitude. Dans les Vosges en effet août est aussi « chaud » que juillet, et ce qui compte en écologie c'est la somme des températures utiles nécessaire pour atteindre un bilan du carbone positif chez une espèce donnée. Mais la répartition géographique du Hêtre (Limite Nord) montre que nous sommes malgré cette objection au seuil léthal.

d) un argument palynologique. L'analyse pollinique de la tourbière du Gazon de Faing dont LEMÉE nous entretient ici, nous montre que le secteur en question a toujours été dépourvu d'arbres.

Comment expliquer alors que certaines portions de la crête, pas toujours des plus élevées, aient toujours été dénudées alors que des sommets comme le Klintzkopf, le Storkenkopf sont couverts de Hêtres et que ceux-ci atteignent près de 1 400 m au Grand Ballon ?

La solution est à rechercher dans ce que nous avons appelé en 1957 (**16**) *l'effet de crête*. Si l'on se réfère aux massifs montagneux les plus proches, notamment la Forêt-Noire, c'est l'exiguïté de la crête vosgienne qui, alliée à la situation géographique en poste avancé vers l'Ouest du massif vosgien, conditionne une péjoration sensible des particularités climatiques déjà décrites pour l'*Acero-Fagetum*. Celles-ci tiennent surtout au fait que les tempêtes d'Ouest atteignent sur la crête leur vitesse maximum et aux corollaires écologiques s'y rattachant : crête maintenue pratiquement libre de neige en hiver, ce qui augmente la profondeur de pénétration et l'intensité du gel du sol ainsi que la fréquence des cycles gel-dégel ; augmentation des effets des vents desséchants en période anticyclonique, ainsi que des effets mécaniques d'abrasion des aiguilles de glace fréquemment véhiculées par le vent en forte densité en période de brouillard. Pour que l'effet de crête se manifeste au maximum il faut que celle-ci ait une orientation perpendiculaire aux vents dominants. C'est le cas de la région Gazon de Faing-Gazon de Faîte-Tanneck au Nord de la Schlucht, et Hohneck-Kastelberg-Rothenbach au Sud. Au delà, à partir du Batteriekopf l'altitude de la crête s'abaisse sur une longue distance, puis son orientation change progressivement pour devenir Ouest-Est au niveau du Storkenkopf-Grand Ballon, c'est-à-dire entièrement parallèle au vent. C'est là, pensons-nous, que réside l'explication des sommets boisés que nous trouvons dans cette dernière région surtout lorsqu'ils se trouvent, comme c'est le cas du Klintzkopf, en retrait de la crête principale (le Klintzkopf est protégé par le Breitfirst). Aussi admettons-nous que les portions de crête Gazon de Faing-Tanneck au delà de 1 270 m environ, et Hohneck-Kastelberg-Rothenbach, au delà de 1 300 m environ, ont toujours été entièrement dénudées, et constituaient le lieu de refuge postglaciaire des espèces alpines, avec les pentes supérieures des flancs de cirque. La limite atteint dans la région Tanneck-Reisberg des valeurs particulièrement basses par suite de facteurs géomorphologiques locaux évoqués page 107, et hostiles à l'arbre : absence totale de « sol » c.-a.-d. d'arène, au début du postglaciaire.

Favarger (**29**), dans une passionnante dissertation sur les sommets jurassiens (1958), recourt également à l'effet culminal, traduction du « Gipfelphänomen », terme dû au phytosociologue Moor (1951), pour expliquer la présence de gazons alpins sur les étroites crêtes jurassiennes dépassant 1 600 m et également orientées Nord-Sud (la limite naturelle de la hêtraie s'y trouve à 1 500 m environ, mais dans le Jura l'Épicéa commence à entrer en compétition et monte plus haut).

Les données obtenues pour la montagne vosgienne atlantique ne font d'ailleurs que rejoindre les constatations, nombreuses, sur la vulnérabilité des forêts en régions eu-atlantiques surtout siliceuses et la facilité de leur remplacement par des landes.

2° Les groupements végétaux des Hautes Chaumes.

Les pâturages de la crête nous offrent l'aspect d'une lande basse, parfois d'une pelouse, pauvre en espèces, dont la composition floristique est dans l'ensemble très uniforme.

C'est la présence d'un *groupe d'espèces alpines ou subalpines* alpino-pyrénéennes ou pyrénéennes dont nous ne citerons, pour ne pas répéter ce qui est écrit dans la partie floristique de cet ouvrage, que celles qui jouent un rôle sociologique important, qui confèrent à cette lande son caractère et son originalité.

Ce sont :

— *Anemone alpina*, qui conditionne avec *A. nemorosa* l'aspect pré-vernal des Chaumes, espèce alpine (calciphile dans les Alpes, où elle se trouve dans le *Seslerietum !)* ;

— *Selinum pyrenaicum*, d'origine pyrénéenne;

— *Leontodon pyrenaicus*, alpino-pyrénéenne, de très haute présence et abondance, conditionnant la physionomie de l'aspect vernal avec la Pensée des Vosges et le Meum;

— *Gentiana lutea*, spécialement inféodée à l'étage subalpin ;

— *Gymnadenia albida*, arctico-alpine;

— *Arnica montana*, qui descend dans l'étage montagnard.

S'y joignent un certain nombre d'*orophytes subatlantiques* comme *Viola lutea*, qui ne descend guère en dessous de 900 m, *Jasione perennis* qui est à son optimum sur le versant Est de la crête, *Galium saxatile*, une montagnarde qui reste abondante dans le subalpin et enfin *Meum athamanticum* dont le comportement est approchant.

Mais la *physionomie* est conditionnée par les 8 espèces suivantes, quantitativement les plus importantes : *Vaccinium myrtillus*, *V. idis idaea*, *Festuca rubra commutata*, *Nardus stricta*, *Agrostis vulgaris*, *Calluna vulgaris*, *Potentilla tormentilla*, *Genista pilosa*.

Or les *landes à Vaccinies* sont précisément caractéristiques de l'étage subalpin supérieur européen d'une part, de la zone subarctique d'autre part (Écosse, Scandinavie, Islande, Faer-Oer, Groenland). Rempp (1935) a été frappé déjà par les similitudes physionomiques et floristiques présentées par la végétation islandaise comparée à celle des Chaumes. La présence de *Vaccinium uliginosum*, ainsi que celle plus rare d'*Empetrum nigrum*, contribue à accentuer le caractère subarctique. A altitude plus basse (Champ du Feu 1 000 m) ces deux espèces sont en effet strictement confinées aux tourbières et représentent alors des reliques glaciaires.

Nous ne parlons pas des autres espèces, citées dans la partie floristique, mais relèverons la présence sur les Chaumes de plantes normalement forestières comme *Anemone nemorosa* et *Majanthemum bifolium*. Ces espèces ont déjà été considérées comme des témoins d'une ancienne forêt, alors qu'en réalité ce sont les conditions écologiques d'humidité de l'air et du sol de la crête, et qui ailleurs ne se trouvent réalisées qu'en forêt, que recherchent ces plantes. La faiblesse de la concurrence graminéenne (taille peu élevée des plantes !) les autorise à végéter sur les Chaumes.

La lande des Chaumes correspond à une seule association à savoir le *Violo-luteae-Nardetum* (Alliance subalpine-alpine de l'*Eu-Nardion*) qui présente de nombreuses variantes stationnelles sur lesquelles nous ne pouvons nous étendre. Ce groupement, spécifique des Hautes Vosges, est à considérer comme vicariant géographique du *Leontodonto-Nardetum* de la Forêt-Noire et surtout du *Plantagini-alpinae-Nardetum* d'Auvergne.

3° Les sols sur granite de la lande primaire.

a) *Morphologie* : l'aspect typique du sol de la lande à *Vaccinium* du Hohneck.

Prenons comme exemple une coupe de sol faite près du Col du Falimont à 1 290 mètres d'altitude sur pente de 10° exposée au Sud-Sud-Ouest dans une lande-pelouse à *Vaccinium*, riche en *Festuca rubra* et *Gentiana lutea* que nous pouvons considérer comme typique de la végétation des Chaumes.

Le profil est relativement épais, 70 à 80 cm, et repose sur une arène mêlée de débris granitiques assez frais, anguleux, de quelques centimètres à quelques décimètres de grand axe, de teinte générale gris fauve : la roche-mère est formée de matériel soliflué.

L'ensemble du profil frappe par son uniformité : les horizons sont indistincts et les variations morphologiques à peu près continues du sommet à la base du profil. Cet aspect

rappelle celui de beaucoup de sols bruns, particulièrement de la série oligotrophe, mais nous verrons les profondes différences qui opposent notre coupe à celle d'un sol brun. L'on passe par transition graduelle d'une épaisse couche d'humus très foncée, de couleur brun noir, à la couche de solifluction fossile très claire, par l'intermédiaire d'horizons gris brun.

En schématisant nous pouvons cependant distinguer :

— un horizon humique de surface A_0 noir,

— un horizon humique de transition A_{11} gris,

— un horizon terreux A_{12} gris brun,

— l'arène AC fauve.

L'humus brut de surface.

Il est épais de 10 à 12 cm en moyenne et parcouru d'un lacis inextricable de racines et de rhizomes, surtout d'Éricacées dont l'appareil souterrain reste essentiellement confiné dans cet horizon superficiel (« Humuswurzler »). Dans les intervalles nous trouvons un humus noirâtre ayant à première vue l'aspect de l'humus brut, c'est-à-dire du Mor. Mais en l'examinant de plus près nous constatons que cet humus est mêlé de très nombreux grains minéraux, en particulier de nombreux éléments blancs, de granulométrie sableuse : grains de quartz, d'orthose blanchie, paillettes de biotite décolorée, etc. Ces minéraux sont libres, lavés, propres, sans liaison avec la matière organique. Cette dernière se présente essentiellement sous forme de petits granules, exclusivement organiques ou presque, gris-noirs, très apparents à l'état sec, de 0,5 à 2 mm de diamètre. La matière organique est bien humifiée, elle tache les doigts à l'état humide, la structure des tissus végétaux a disparu. Au microscope, par contre, nous apercevons encore de nombreux débris structurés, mais de faible taille et très colorés (brun-noir) et surtout des corpuscules arrondis ou elliptiques noir représentant des excréments d'Arthropodes du sol.

Nous avons affaire à un type de Moder déjà proche du Mor : le « Grobmoder » de Kubiena. Les observateurs antérieurs des sols vosgiens (Rempp, Issler) étaient déjà frappés par les fortes accumulations d'humus brut sur les Chaumes et comparaient cet humus à une tourbe (ce qu'il faut éviter étant donné la genèse très différente de cette dernière).

L'horizon humique de transition.

Les 15 à 20 cm sous-jacents sont avec plus de 15 % de matière organique encore fortement humifères. La matière organique, mieux humifiée, est du type « Feinmoder » intimement mélangée à la fraction minérale mais sans liaison, ce qui fait que la structure est très faible et *pulvérulente-poussiéreuse* à l'état sec comme l'horizon précédent. Ces deux horizons sont *extrêmement difficiles à mouiller*, et une fois secs seul l'emploi de détergents permet leur réhydratation. Ils diffèrent ainsi des tourbes de réhydratation un peu moins ardue. Les particules minérales sont ici moins altérées et moins blanchies en général.

Cet horizon est encore très riche en racines, particulièrement les chevelus denses des Graminées et les racines pivotantes de *Gentiana lutea*, *Meum athamanticum*, *Selinum pyrenaicum*, *Leontodon*, etc.

L'horizon terreux.

Entre 30 et 60 cm l'aspect est terreux, la couleur plus franchement brune, la texture devient grossière, sablo-graveleuse, et les débris pierreux sont très nombreux, mais nous

trouvons encore entre 8 et 10 % de matière organique. Les racines se raréfient et à partir de 60 cm nous passons graduellement à la roche-mère de couleur beaucoup plus claire.

b) *Analyse physico-chimique.*

Dans le tableau ci-dessous sont consignés les résultats d'analyse de ce profil et de quelques autres, analogues :

1° Col du Falimont. Sol décrit ci-dessus. (Épaisse couverture arénacée solifluée.)

2° Entre Hohneck et Kastelberg. Alt. 1 310 m. — Exp. ENE. — Pente 5°. — Granite des crêtes avec faible recouvrement d'arène pierreuse. — Nardaie-vacciniae très riche en *Anemone alpina.*

3° Versant E. de la crête entre Hohneck et Kastelberg, près des « Spitzköpfe ». Alt. 1 280 m. Pente 35°. — Exp. N. — Granite recouvert d'arène épaisse. Lande à Myrtilles : optimum de *Vaccinium myrtillus.*

4° Entre la Ferme du Gazon Martin et le Gazon de Faîte. — Alt. 1 250 m. — Exp. Sud-Ouest. — Pente 5°. — Granite surmonté de très peu d'arène : proximité de la niche de nivation de la tourbière du Tanneck-Gazon Martin. — Nardaie-Vacciniaie à *Calluna.*

5° Gazon de Faîte-Gazon du Faing, au droit du Lac des Truites. — Alt. 1 280 m. — Exp. Ouest-Nord-Ouest. — Pente très faible. — Granite des crêtes sain, décapé. — Nardaie-Vacciniaie à Calluna. — Ranker d'érosion = Ranker sensu stricto selon Kubiena, à Mor, à dynamique podzolique prononcée.

N°	Horizons prof.	des.	pH H_2O	Granulométrie % A.	L.	SF.	SG.	Mat. org. %	C%	N%	C/N	Complexe absorbant à p.H 7,0 m. éq. gr. % Ca	Mg	S	T	V%	Fer libre Fe %
1	1-10	A_0	4,8					30	18,4	1,23	14,9	2,1	2,1	4,65	40,6	11,3	n.d.
	15-25	A_{11}	4,8	10	6	17	48	16	10,8	0,58	15,8	1,5	1,2	3,1	24,6	12,6	3,3
	35-45	A_{12}	5,2	9	11	18	53	8	6,0	0,37	16,3	1	0,9	2,3	17,8	12,9	3,3
	55-65	AC	5,6	8	9	24	52	5,7	2,5	0,15	16,7	1,1	1,2	2,5	12,2	20,5	2,1
2	0-10	A_0	4,6					37	21,0	1,25	16,8	3,4	3,1	7,8	51,3	15,2	n.d.
	15-25	A_{11}	4,8	12	11	15,5	37,5	25	13,2	0,87	15,1	1,2	1,9	3,6	32,1	11,2	4,3
	30-40	A_{12}	5,0	8	12	13	52	16	7,7	0,47	16,4	0,8	1,1	2,2	19,8	11,1	2,5
3	6-15	A_0	4,7					31,6	16,1	0,92	17,5	2,0	1,7	3,9	38,6	10,1	n.d.
	20-30	A_{11}	5,0	11	14	15	42,5	20	10,3	0,68	15,1	0,7	0,7	1,8	26,8	6,7	3,35
	40-60	A_{12}	5,1	8	13	20,5	46,5	9,7	5,4	0,32	17,0	0,4	0,8	1,3	15,8	8,2	2,20
4	4-10	A_0	4,1					33,6	19,6	0,93	21,0	2,4	2,0	4,9	46,5	10,5	n.d.
	10-18	A_1	4,4	10	11	24	37	17	9,45	0,50	18,9	1,0	1,3	2,3	20,5	11,2	0,86
	30-45	AC	5,1	6	15	23	48,5	6,6	3,7	0,13	27,4	0,8	1,5	2,5	9,8	25,5	0,97
5	0-18	A_0	4,0					61	35,2	1,52	23,1	4,5	1,4	6,6	77,9	8,4	n.d.
	18-45	A_0	4,1					31	18,0	0,52	34,6	0,9	1,3	2,7	50,0	5,4	n.d.

c) *Interprétation : originalité des sols des Hautes Chaumes.*

Liens de parenté avec les sols alpins humiques et les sols de toundra.

Les sols des Chaumes diffèrent en premier lieu des sols évolués de la Hêtraie subalpine par l'absence d'un horizon ocracé d'accumulation d'hydroxydes de fer. A sa place nous avons un horizon terreux très riche en « fer libre », mais probablement sous la forme d'un complexe organique de couleur brune. Aussi pourrait-on être tenté de ranger ces profils

dans la catégorie des sols bruns oligotrophes acides. C'est la tendance des pédologues allemands en Forêt-Noire (**36, 3, 32, 42**) qui s'explique d'ailleurs par la fréquence sur les substrats gneissiques plus argileux de formes de transition moins humifères et proches des sols bruns, formes par ailleurs favorisées par l'intensité beaucoup plus grande des influences anthropiques (La Haute Forêt-Noire est habitée, contrairement aux Hautes Vosges et l'élevage y est plus intensif) et la rareté des landes primaires, naturelles.

Mais les sols de Hautes Chaumes se distinguent des sols bruns de certaines Hêtraies subalpines par les *caractères quantitatifs et qualitatifs de la matière organique*. L'humus brut des 8 à 10 premiers cm (parfois bien plus) titre 30 à 40 % ou plus, en poids, de matière organique. Rappelons que dans la Hêtraie des sommets nous trouvions une moyenne d'environ 20 % de matière organique sur les 5 premiers cm. Dans la lande c'est une moyenne d'environ 30 % pour 10 cm, c'est-à-dire 3 fois plus. Mais il faut tenir compte du fait que le poids spécifique du Moder des Chaumes est bien inférieur à celui du Mull ou du Mull-like Moder de la Hêtraie et que, de plus, la richesse en humus reste nettement plus grande dans les horizons inférieurs du profil de lande. A défaut de valeurs statistiques nous pouvons conclure approximativement à une accumulation d'humus de 4 à 5 fois plus forte au m^2. Or le climat général, la roche-mère, les pentes sont identiques. On extrapole ainsi les deux facteurs restants et liés, à savoir la végétation et le microclimat. Au microclimat plus régulier, plus humide, nettement moins froid en hiver, de la Hêtraie qui jouit d'une bonne couverture neigeuse et n'est jamais exposée à des dessiccations superficielles, s'oppose la lande avec son microclimat extrême de crête. Il s'y ajoute l'effet cumulatif de l'action des déchets organiques livrés au sol, dans l'ensemble plus pauvres pour la lande que pour la Hêtraie.

Au point de vue qualitatif il faut retenir la *très forte désaturation* des horizons superficiels, les taux de saturation généralement inférieurs à 10 % pouvant atteindre des valeurs extrêmes de l'ordre de 5 %. Cette forte désaturation se répercute sur les rapports quantitatifs des ions en particulier celui de Ca et Mg comme nous l'avons indiqué dans l'introduction p. 107. (Dans les sols bruns eutrophes, le rapport Ca/Mg est de l'ordre de 10 !)

A la forte désaturation s'oppose l'*humification relativement bonne* qui se traduit dans les valeurs du C/N qui sont de 17 en moyenne. L'humus brut des Chaumes se distingue par cette propriété des Mor et des tourbes dont le C/N est de l'ordre de 25 à 30.

Si nous considérons l'acidité et la désaturation de l'humus brut, l'importance des Éricacées dans la végétation et la forte pluviosité, *l'absence apparente de phénomènes de podzolisation* pose un problème. Le profil nous donne somme toute l'image d'une juxtaposition de couches humifères de sols podzoliques et d'horizons inférieurs rappelant des sols bruns inévolués. Examinons en effet la répartition de l'argile et du fer libre dans les profils.

L'argile est peu abondante comme dans les sols ocre-podzoliques et podzoliques. Cela tient à la labilité des minéraux argileux dans les conditions de forte acidité. Par ailleurs JENNY, étudiant la teneur en argile des sols sur granite de la Blue Ridge américaine en fonction des températures moyennes annuelles, a fait ressortir une bonne corrélation et ses chiffres sont comparables à ceux des Hautes Vosges compte tenu de la température (5).

La répartition de l'argile dans le profil, régulièrement décroissante de haut en bas, alors que dans les sols bruns c'est généralement l'inverse, semble indiquer son origine récente « biogénétique », et montre qu'il n'y a pas trace de lessivage.

L'oxyde de fer est très abondant à l'état libre et sa répartition dans le profil est analogue à celle de l'argile, c'est-à-dire décroissante de haut en bas, surtout si l'on tient compte du rapport oxyde de fer/fraction minérale. L'indice d'entraînement du fer est ainsi générale-

ment négatif. Or, dans le cas de sols de landes à Éricacées (rhododendrons) des Alpes Centrales, des taux de saturation analogues à ceux rencontrés pour l'humus des Chaumes sont toujours à l'origine d'une notable podzolisation.

Ainsi l'originalité des sols des Hautes Chaumes tient dans leur *grande inertie chimique*, inertie qui est généralement le fait de sols de haute montagne (étage alpin) et que nous rapportons dans notre cas à la fraîcheur et à la courte durée de l'été subalpin eu-atlantique, à la longueur de la période de gel profond hivernal, la faiblesse de la lame d'eau percolante.

Les sols de la crête vosgienne sont donc *très proches des sols silicatés humiques ou encore alpins-humiques de l'étage alpin des Alpes Centrales* où ils ont été décrits pour la première fois par JENNY en 1927 puis définis par PALLMANN en 1933. Sols caractérisés essentiellement par une accumulation basifuge de matière organique plus ou moins acide sur une roche-mère faiblement modifiée, ils sont de profil AC.

En 1937 H. ERHART, un des pionniers de la pédologie française, étudiant des sols sur granite de landes pseudoalpines du Forez vers 1 400 mètres d'altitude, avait été déjà très surpris par l'absence totale de podzolisation malgré la somme considérable des facteurs favorables au phénomène et avait magistralement posé le problème, insoluble à l'époque, de la genèse de ces sols (**27**). Soulignons que les Podzols russes, c'est-à-dire continentaux, se rencontrent, d'après VOLOBOYEV (**54**), pour des précipitations allant de 300 à 1000 mm et des moyennes annuelles de — 12° à + 10°, la somme des précipitations nécessaires étant d'autant plus faible que le climat est plus continental (cf. aussi **37**).

Les résultats obtenus pour les sols des Hautes Chaumes cadrent donc avec les conclusions que nous avions établies dans les chapitres précédents au sujet du décalage important des étages altitudinaux dans les montagnes océaniques (voir aussi **47**) : les sols des landes primaires subalpines vosgiennes sont proches de ceux rencontrés dans les Alpes Centrales vers 2 500 m d'altitude.

KUBIENA (1953) a classé les sols AC sous le nom générique de *Ranker*. Cette dénomination concerne d'une part les stades jeunes initiaux de nombreux types de sol à profils très minces, d'autre part des sols « murs » de l'étage alpin des Alpes centrales. Dans ce dernier cas le terme est synonyme de sol silicaté humique.

Reprenant avec DUCHAUFOUR cette dénomination, qui avait été utilisée par FRANZ (**31**) dans un sens plus large, nous l'appliquions aux profils des Hautes Chaumes (**16**).

En réalité, le Ranker vosgien se distingue des sols humiques silicatés alpins par plusieurs caractères.

Il est plus épais, généralement plus humifère et à type d'humus différent du fait des différences de végétation (les pelouses alpines sont à dominance de graminées). De plus on trouve entre l'humus et la roche-mère des horizons « terreux » plus ou moins épais. L'humus des horizons supérieurs a des propriétés podzolisantes. Nous avions noté le blanchiment des minéraux des couches superficielles, particulièrement bien révélé lors de l'analyse granulométrique, après destruction de la matière organique. Il affecte, selon les conditions stationnelles, une épaisseur et une intensité variables. Mais l'oxyde de fer ainsi libéré ne migre pas ou seulement faiblement (comme nous l'avons observé en Auvergne), et même dans ce dernier cas il n'y a pas d'individualisation morphologique d'horizon enrichi en oxyde de fer, celui-ci étant superficiel et masqué par l'humus.

Nos profils ont ainsi un caractère cryptopodzolique et nous les avons appelés *Ranker cryptopodzoliques* (**18**). Nous les avons retrouvés en Auvergne (**40, 18**) et dans les Préalpes océaniques. FRANZ avait déjà signalé les propriétés cryptopodzoliques de sols du même type qu'il décrivit de montagnes granitiques portugaises. C'est un type de sol original qui

n'avait été que très peu étudié encore. [Il est totalement ignoré dans l'atlas des sols de l'Allemagne de l'Ouest de MUCKENHAUSEN (7), de même que chez KUBIENA (6).]

Contrairement aux sols podzoliques, podzols et sols de landes de plaine, ces sols sont relativement faciles à améliorer et sont convertibles en sols bruns. Une simple irrigation par eau de source provoquant une neutralisation progressive de l'humus brut et une activation biologique peut suffire. Ceci les rapproche des sols alpins eux aussi convertibles en sols bruns sous l'influence de l'homme comme l'ont montré BRAUN-BLANQUET, PALLMANN et BACH dans les Alpes Centrales (14).

4° Les sols sur grauwacke.

La région étudiée ne touchant qu'à peine la zone schisto-grauwackeuse du Markstein-Grand Ballon, nous nous abstiendrons de décrire en détail les sols sur grauwacke. Ils sont en ce qui concerne les landes primaires que nous ne trouvons qu'au sommet du Rothenbachkopf et du Grand Ballon, en tous points analogues à ceux sur granite, la texture mise à part.

Bornons-nous à reproduire ici l'analyse d'un sol prélevé près du sommet du Grand Ballon, particulièrement riche en humus et désaturé. Il nous donne une idée de ce que seraient les sols vosgiens si l'altitude du massif était plus élevée, et présente des analogies frappantes avec les sols sur substrats volcaniques d'Auvergne entre 1 400 et 1 700 mètres.

Prélèvement sur le flanc Est du Grand Ballon à 1 400 mètres d'altitude sur une pente faible d'environ 5°.

Horiz.	Prof. cm	pH H_2O	M.O. %	C %	N %	C/N	Compl. absorb. méq. p. 100 g				
							Cap. tot. T	Bases éch. S	Ca	Mg	V %
A_0	1-15	4,6	45	25,5	1,5	17,0	68	3,7	2,6	0,8	5,4
A_1	15-40	4,6	36	19,6	1,14	17,2	60	2,7	0,6	1,5	4,5

5° Les Hautes Chaumes secondaires.

Critères pédologiques permettant une distinction entre landes primaires et secondaires.

Nous avons vu que les sols de la Hêtraie des sommets allaient du type brun acide, dans les meilleures conditions, au type brun ocreux, très répandu. Les landes secondaires dérivent donc génétiquement de ces deux types. Or la surface des Hautes Chaumes ayant été considérablement étendue au profit du pâturage et aux dépens de la Hêtraie, *les traces de l'ancienne occupation forestière se retrouvent dans le profil pédologique et permettent la distinction.*

Celle-ci est particulièrement nette *sur granite*, dans le cas, général, des anciens sols bruns ocreux. En effet, DUCHAUFOUR a, avec d'autres auteurs, montré qu'en climat atlantique la déforestation suivie de l'établissement d'une lande conduisait généralement à la podzolisation de sols originellement de type lessivé (propres aux régions atlantiques de plaine) ou bruns ocreux. Dans la région de la crête nous avons vu que les processus de podzolisation étaient freinés. Mais comme ils sont nettement amorcés dans la Hêtraie, l'établissement de la lande conduit à une légère accentuation du phénomène; *la présence d'un horizon ocreux dans un profil de lande des Hautes Chaumes nous permet de conclure à*

coup sûr à son origine forestière. C'est le cas sur le flanc Ouest du Hohneck et du Kastelberg entre 1 200 et 1 280 mètres d'altitude.

Voici un exemple d'un tel profil :

Versant Ouest du Hohneck, 1 240 mètres, pente 5 à 10°, exp. Nord, près de l'embranchement route des Crêtes, route du sommet du Hohneck.

La végétation est riche en Callune, en *Vaccinium uliginosum* et la topographie présente des cordons horizontaux du genre terrassettes.

Le profil présente l'aspect suivant, à première vue distinct du Ranker des Chaumes par des horizons nettement individualisés :

— A_0 - 0 - 15 cm. Moder grossier noirâtre proche du Mor, farci de racines et de rhizomes. Contact assez brutal avec l'horizon suivant.

— A_1 - 15 - 25 cm. Arène humifère, brun gris, sableuse, riche en racines. Minéraux blanchis. Contact avec l'horizon B irrégulier mais assez net.

— B - 25 - 45 cm. Arène rubéfiée de couleur ocracée franche sans structure, sableuse. Passe progressivement à :

— BC Arène de couleur fauve très pierreuse, représentant du matériel soliflué qui constitue la roche-mère.

Analyse :

Horiz.	Prof. cm	pH (H_2O)	Arg.	Limon	Sable fin	Sable gros.	Eau	Mat. org.	Fer libre
A_0	3-8	4,5					10,7	39,5	
A_1	15-20	4,6	11	11	16,5	41	4,4	18	1,7
B	30-35	5,5	5	13	18	54	3,4	8,7	3
BC	50-60	5,6	4	13	24	53	2,1	4,9	1,5

		Complexe abs. méq. p. 100 g					C %	N %	C/N
		Cap. T	Bases S	Ca	Mg	V %			
A_0	3-8	43,7	5,9	3,3	1,8	13,5	23,3	1,3	17,1
A_1	15-20	25,6	2,6	1,3	0,9	10,2	10,4	0,53	16,5
B	30-35	17,6	2,9	1,2	1,3	16,4	3,4	0,17	13,5
BC	50-60	9,3	2,1	1	1	22,5	1,4	0,07	9,8

Cette analyse confirme les caractères morphologiques : présence d'un horizon de précipitation d'oxyde de fer, hérité de la hêtraie. Mais celui-ci est accentué du fait de l'augmentation de la mobilité du fer due à l'acidification du Moder consécutive à la déforestation : l'indice d'entraînement du fer est de 1,7. Le Moder évolue vers le Mor, sa plus grande inertie se traduisant par l'augmentation de la teneur en matière organique qui atteint 40 %. Mais les taux de saturation restent analogues à ceux de la lande primaire, ainsi que le C/N, la végétation étant pratiquement identique.

Nous sommes donc en présence d'un *sol ocre-podzolique issu d'un sol brun ocreux de Hêtraie.* Le profil est nettement différent de celui de la lande primaire, mais la végétation et l'horizon humique supérieur sont semblables, ce qui est la conséquence de l'unité des

conditions mésoclimatiques et phytosociologiques régnant sur l'ensemble des Hautes Chaumes. Les sols de lande primaire et secondaire représentent ainsi des *sols analogues* au sens de PALLMANN.

Sur grauwacke c'est toujours un sol brun que nous avions trouvé sous la Hêtraie des sommets. Aussi les sols des landes secondaires représentent-ils dans ce cas la transition entre un sol brun et un Ranker. Les horizons inférieurs, hérités de la Hêtraie, restent intacts et sont donc ceux d'un sol brun acide peu évolué tandis que les horizons supérieurs évoluent vers le Moder des Chaumes et deviennent, là encore, analogues à ceux de la lande primaire. *Sur grauwacke le sol de la lande secondaire ne se distingue donc de celui de la lande primaire que par l'importance des horizons « terreux » s'intercalant entre la couche humique, d'ailleurs plus faible, et la roche-mère.*

Nous avons analysé ailleurs (**17**), un processus exactement identique ayant abouti sur granite au même résultat, au Champ du Feu. En effet, les variantes de basse altitude de l'*Acero-Fagetum milietosum* correspondent à des sols bruns. L'établissement d'une lande secondaire au Champ du Feu aux dépens d'une telle Hêtraie, entre 1 000 et 1 100 mètres a donné lieu à la formation d'un sol composite de Ranker cryptopodzolique coiffant un sol brun. La modification mésoclimatique résultant de la déforestation a même eu pour effet la genèse de quelques petits réseaux de buttes de cryoturbation.

L'étude pédologique nous permet ainsi dans tous les cas une délimitation précise de l'ancienne occupation forestière.

6° Les flancs supérieurs des cirques glaciaires.

Ils présentent une végétation d'un très grand intérêt (voir la description de M. OCHSENBEIN) mais encore peu étudiée quant à la sociologie.

Outre sa richesse floristique, *cette végétation est particularisée par sa pérennité durant le postglaciaire.* Celle-ci est due aux conditions écologiques très spéciales de ce milieu, qui n'a jamais été forestier, malgré sa situation abritée. Il le doit à la suralimentation neigeuse des cirques qui persiste de nos jours, et à la composition des forêts de la période xérothermique (Chênaies à Coudriers) qui n'a pas permis à ces dernières d'escalader la crête malgré la hausse des températures qui fut d'environ 2°.

Les deux groupements de loin les plus importants des pentes de cirques sont :

Sur les flancs exposés au Sud le Centaureo-montanae-Calamagrostidetum.

Groupement subalpin thermophile présentant des analogies nettes avec ses équivalents auvergnats (**41**) et de Forêt-Noire (**7b**). C'est l'association la plus intéressante de toutes les Hautes Vosges par son histoire puisqu'il s'agit d'un groupement qui s'est constitué en partie au xérothermique mais reste parfaitement adapté aux conditions écologiques actuelles de ses stations. Ce n'est nullement une mosaïque floristique anarchique comme le croyait ISSLER par suite de la diversité des groupes écologiques qui entrent dans la garniture spécifique moyenne de l'association et lui donnent une apparence d'hétérogénéité. Ces divers groupes constituent en réalité d'excellentes séries d'*espèces différentielles* mieux représentatives des associations que les *caractéristiques* dont le nombre tend à s'amenuiser à mesure que progresse la phytosociologie. La richesse en espèces eurasiatiques continentales du groupement contraste avec le fond subatlantique général de la flore des Hautes Vosges. — Ses sols représentent des *Ranker à Mull* (Braunerderanker).

Sur les versants exposés au Nord et suintants nous trouvons l'exubérance de l'Epilobieto-trigoni-Adenostyletum (provis.). Ce groupement de hautes herbes hygrophiles est pratiquement identique à ses équivalents auvergnats et cantaliens (**48**) et remarquable par la beauté et la richesse de ses coloris. Les sols extrêmement pierreux sont constamment imprégnés d'eau courante très froide, ce sont *des Ranker à Hydromull.* — Les deux groupements se trouvent entre 1 200 et 1 300 mètres.

VII. CONCLUSION

La science du sol contribue, avec la phytosociologie, la floristique et la faunistique, à nous dépeindre le Hohneck comme une enclave subalpine et, par bien des aspects, subarctique, à quelques kilomètres à vol d'oiseau de l'îlot xérothermique de Colmar-Neuf-Brisach. Les paysages de lande à Vaccinies, à réseaux de buttes gazonnées, de tourbières et de cirques glaciaires le laissaient présager. Remarquablement nordique est la physionomie, la flore et la faune du complexe du lac-tourbière du Lispach qui sera malheureusement détruit par un barrage, ou des lacs de la Vologne.

Mais les géographes nous ont habitué à nous méfier des comparaisons entre étages altitudinaux et zones de latitude. Emberger, Troll et d'autres ont démontré que les *climats de montagne* devaient être considérés comme des variantes des climats régionaux et que si les climats de toutes les montagnes du monde ont des traits communs, ils diffèrent profondément entre eux selon leur latitude et leur situation par rapport aux masses continentales.

Aussi ne saurait-il être question d'assimiler la crête des Hautes Vosges ni à l'étage subalpin supérieur des Préalpes, ni aux régions de la lisière forestière subarctique-atlantique. La comparaison avec les massifs montagneux proches et aux conditions écologiques très voisines comme la Forêt-Noire, le Jura et surtout l'Auvergne d'une part, ou avec les montagnes de la lisière occidentale de la Scandinavie ou de l'Écosse d'autre part, est indispensable si l'on veut bien comprendre les phénomènes vosgiens, et fructueuse parce que révélant d'étroites analogies. Il n'en reste pas moins vrai que les Vosges, massif montagneux isolé, avant-poste atlantique de l'Europe centrale subcontinentale, présentent de ce fait nécessairement une personnalité propre. Celle-ci se traduit par les effets des vicissitudes historiques de sa flore, qui ont déterminé la composition actuelle du tapis végétal. Une expression originale en est par exemple l'abondante présence, dans notre lande nordique acide à *Vaccinium*, d'*Anemone alpina*, espèce alpine absente des pays nordiques et localisée dans les Alpes sur sols calcaires et dans des groupements végétaux très différents. Ce tapis végétal forme lui-même avec le sol un complexe indissociable puisque nous avons vu qu'à chaque groupement correspondait un type de sol déterminé ou du moins deux types analogues dans le cas d'évolution complexe, le tout étant tenu sous la dépendance du facteur écologique majeur et dominant qui est le climat.

La position en massif montagneux isolé avancé, l'orientation de la crête et les faibles dimensions des Vosges ont provoqué un *télescopage des étages altitudinaux* qui sont fortement décalés vers le bas, ce qui souligne l'originalité vosgienne.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

(Nous ne mentionnons ici que les auteurs ou travaux directement cités)

1° *Ouvrages généraux :* (1) BARTSCH (J. et M.). Pflanzensoziologie des Schwarzwaldes. Fischer, Jena, 1940, 229 p. — (2) DUCHAUFOUR (Ph.). Précis de Pédologie. Masson, Paris, 1960, 438 p. — (3) GANSSEN (R.). Bodengeographie. K. F. Kœhler, Stuttgart, 1957, 219 p. — (4) ISSLER (E.). Pflanzensoziologie der Vogesen. Fischer, Jena, 1942, 192 p. — (5) JENNY (H.). Factors of Soil Formation. Mc Graw-Hil, N. Y. et Londres, 1941, 270 p. — (6) KUBIENA (W. L.). Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. F. Enke, Stuttgart, 1962, 392 p. — (7) MUCKENHAUSEN (E.). Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland. Kommentator, Francfort, 1959, 146 p. — (7b) OBERDORFER (E.). Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Fischer, Jena, 1957, 564 p. — (8) POCHON (J.), DE BARJAC (H.). Traité de microbiologie des sols. Dunod, Paris, 1958, 685 p. — (9) WALTER (H.). Standortslehre. E. Ulmer, Stuttgart, 1951, 525 p.

2° *Articles cités :* (10) ANDRÉ (J.). Les phénomènes de transport périglaciaire en Morvan Nord. Bull. Ass. fr. Et. Sol. 1957, 962-973. — (11) BOYE (P.). Les Hautes Chaumes des Vosges, Paris, 1903. — (12) BOULLARD (B.), MOREAU (R.). Sol, microflore et végétation. Masson, Paris, 1962, 172 p. — (13) BRAUN-BLANQUET (J.). Ericaceae, in HEGI, Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Munich. — (14) BRAUN-BLANQUET (J.), PALLMANN (H.), BACH (R.). Vegetation und Böden der Wald- und Zwergstrauch-Gesellschaften (Vaccinio-Picetalia). Pflanzensoziol. bodenkundl. Untersuch. im Schweizer Nationalpark, N° 28, 1954, 200 p. — (15) CAILLEUX (A.), TAYLOR (G.), Cryopédologie. Hermann & Cie, Paris, 1954, 218 p. — (16) CARBIENER (R.). Étude de quelques sols des Hautes Vosges. Bull. Ass. fr. Ét. Sol. 1957, 1000-1010. — (17) CARBIENER (R.). Les sols et la végétation des « Chaumes » du sommet du Champ du Feu (Vosges Centrales). Bull. Ass. fr. Ét. Sol., 1962, 18-33. — (18) CARBIENER (R.). Remarques sur un type de sol encore peu étudié : Le Ranker cryptopodzolique de l'étage subalpin des massifs hercyniens français (à paraître C.R. Acad. Sc.). — (19) COPPENET (M.). Les caractères des sols granitiques de Bretagne. Bull. Ass. fr. Ét. Sol. 1959, 1-25. — (20) DUCHAUFOUR (Ph.). De l'influence de la chaleur et des radiations sur l'activation de l'humus forestier. Rev. forest. Fr. 1953, 204-212. — (21) DUCHAUFOUR (Ph.), MILLISCHER (H.). Étude des types de végétation dans une sapinière vosgienne. Rev. forest. Fr. 1954, 160-178. — (22) DUCHAUFOUR (Ph.). et Coll. Un exemple d'utilisation pratique de la cartographie des stations : La forêt du Ban d'Étival (Vosges). Rev. forest. Fr. 1958, 597-630. — (23) DUCHAUFOUR (Ph.), JACAMON (M.). Les vallées des Basses Vosges et leurs types de forêts. Bull. Soc. bot. Fr. 105, 1959, 27-36. — (24) DUCHAUFOUR (Ph.). Le rôle de la végétation dans l'évolution des sols. Bull. Ass. fr. Ét. Sol. 1961, 168-193. — (25) ELLENBERG (H.). Ueber die Beziehungen zwischen Pflanzengesellschaft, Standort, Bodenprofil u. Bodentyp. Angew. Pflanzensoziol. 15, 1958, 14-18. — (26) EMBERGER (L.). Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Bot. Montpellier 7, 1955. — (27) ERHART (H.). Sur la nature et la formation des sols dans les montagnes granitiques d'Auvergne. Rev. Sc. natur. Auvergne 3, 1937, 148-151. — (28) FAVARGER (Ch.). Considérations sur l'étage subalpin. In Flore et végétation des Alpes II. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1958, 9-31. — (29) FAVARGER (Ch.). Flore du Haut Jura et des montagnes insubriennes. Ibid. 176-196. — (30) FLAHAULT (Ch.). Les limites supérieures de la végétation forestière et les prairies pseudoalpines en France. Rev. Eaux Forêts, 40, 1901. — (31) FRANZ (H.). Drei klimabedingte Ranker - Subtypen Europas. 6e Congr. intern. Sci. Sol. Paris, 1956, E, 135-142. — (32) GANSSEN (R.). Zur Kenntnis der Böden des Oberrheingrabens. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde 75, 1957 107-119. — (33) GUINIER (Ph.). Trois conifères de la flore vosgienne. Bull. Soc. bot. Fr., 106 1959 168-183. — (34) GUINIER (Ph.). Photopériodisme systématique et écologique chez les végétaux ligneux. Bull. Soc. bot. Fr. 106, 1959, 287-289. — (35) JUNG (J.). Contribution à la géologie des Vosges hercyniennes d'Alsace. Serv. Carte géolog. Alsace, Strasbourg, 1928, 411 p. — (36) KRAUSE (W.). Ueber das Leistungspotential der Allmendweiden des Hochschwarzwaldes. *In* Die Stoffproduktion der Pflanzendecke. Fischer, Stuttgart, 1962, 67-83. — (37) KUNDLER (P.). Zur Charakterisierung u. Systematik der Braunen Waldböden. Zschr. f. Pflanzenernähr. Düng., Bodenkunde 73, 1957, 209-232. — (38) LEMÉE (G.). Genèse des sols alpins du Massif du Mont Dore. Bull. Soc. bot. Fr. 93, 1946, 402-406. — (39) LEMÉE (G.). Sur la valeur des groupements végétaux comme indicateurs des conditions du sol. Bull. Ass. fr. Ét. Sol, N° 35, 1952, 5-9. — (40) LEMÉE (G.), CARBIENER (R.). La végétation et les sols des volcans de la chaîne des Puys. Bull. Soc. bot. Fr. 103, 1956, 7-29. — (41) LUQUET (A.). Les associations végétales du

Massif du Mont Dore. Brulliard, St-Dizier, 1926, 266 p. — (42) MOLL (W.). Bodentypen im Kreis Freiburg. Ber. naturforsch. Ges. Freiburg, 49, 1959, 5-38. — (43) MOOR (M.). Les associations climatiques et les associations spécialisées. Journ. forest. suisse, 1951. — (44) NORDHAGEN (R.). Versuch einer neuen Gliederung der subalpin-alpinen Vegetation Norwegens. Bergens Mus. Arb. 7, 1936, 84 p. — (45) NORDON (A.). Étude des formes glaciaires et des dépôts glaciaires et fluvioglaciaires du Bassin de la Haute Moselle. Bull. Soc. géol. Fr. 1931, 245-288. — (46) OCHSENBEIN (G.). Le Petit Ballon, contrastes floristiques. Bull. Club Vosgien, 1959, 9-12. — (47) OZENDA (P.). La température et la végétation en montagne. *In* Les divisions écologiques du monde. Centre nat. Rech. scientif., Paris, 1954, p. 51-68. — (48) QUEZEL (P.), RIOUX (A.). L'étage subalpin dans le Cantal (Massif Central de France). Vegetatio, 4, 1954, 345-378. — (49) RADEMACHER (B.). Die Heidemoorkrankheit unter besonderer Berücksichtigung der Kupferfrage, 1937, 71 p. — (50) REMPP (G.), ROTHÉ (J.-P.). Sur certaines formations du sol dans les Hautes Vosges : sentiers de vaches et réseaux de buttes. Bull. Serv. Carte géol. Alsace **2**, 1935, 215-225. — (51) ROUSSEAU (L.-Z.). De l'influence du type d'humus sur le développement des plantules de Sapins dans les Vosges. Ann. Éc. nat. Eaux-Forêts, 17, 1960, 1-118. — (52) SAJOT (M.). Les sols de la région de Lormes (Nièvre). Bull. Ass. fr. Ét. Sol, 1960, 550-578. — (53) SITTIG (C.). Topographie préglaciaire et topographie glaciaire dans les Vosges alsaciennes du Sud. Ann. Géogr. 42, 1933, 248-265. — (54) VOLOBOYEV (V. R.). Soils and climate. 6e Congr. intern. sci. Sol, Paris 1956, E, 181-183. — (55) ZOLLER (H.). Die Höhenstufen der Vogesen. Ber. schweiz. bot. Ges. 1956, 342-354. — (56) ZOLLER (H.). Die natürliche Grossgliederung der fennoskandischen Vegetation und Flora. Ber. geobot. Inst. Rübel, Zurich, 1956, 74-98.